

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-154338

(43)Date of publication of application : 16.06.1995

(51)Int.Cl.

H04B 10/17  
H04B 10/16  
G02F 1/35  
H01S 3/07  
H01S 3/10  
H04B 10/02  
H04B 10/18

(21)Application number : 05-274492

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 02.11.1993

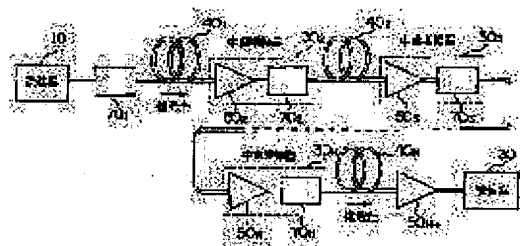
(72)Inventor : NAKAZATO KOJI  
NISHIMURA MASAYUKI

## (54) OPTICAL COMMUNICATION PATH

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To provide the optical communication path for satisfactorily holding transmission characteristics by performing adjustment so that the amplified peak wavelength of a repeating amplifier can be matched with the transmission wavelength of changed signal light after an optical transmission line is laid and an optical communication system is operated.

**CONSTITUTION:** In this optical communication path, transmission optical fibers 401-40N laid between a transmitter 10 and a receiver 20 are connected over N steps by repeating amplifiers 302-30N. At the repeating amplifier 30M, a variable optical attenuator 70M is connected to the output terminal of an optical fiber amplifier 50M. The attenuation amount of signal light at this variable optical attenuator 70M adjusts the repetition loss of signal light together with the loss amount of signal light at the transmission optical fiber 40M in the following step, and the amplified peak wavelength of a repeating amplifier 30M+1 in the following step is set so as to be matched with the transmission wavelength of signal light. Therefore, the signal light is amplified by the repeating amplifier 30M+1 in the following step into a certain state so as to sufficiently discriminate a signal component corresponding to a noise component. Since this repeating amplification is executed over a lot of steps, the signal light is amplified with satisfactory noise characteristics.



**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1]An optical communication line which is provided with the following and characterized by adjusting the magnitude of attenuation of this variable attenuator to a value which is in agreement with optical signal wavelength which amplification peak wavelength of said latter relay amplifier should transmit and which carried out multi stage connection of two or more optical transmission lines via a relay amplifier.

An optical fiber amplifier which amplifies an optical signal which inputted said relay amplifier from said optical transmission line of the preceding paragraph.

A variable optical attenuator which has a magnitude-of-attenuation variable means which adjusts the magnitude of attenuation, decreases said optical signal inputted from said optical fiber amplifier, and is outputted to said latter optical transmission line.

[Claim 2]An optical communication line which is provided with the following and characterized by adjusting the magnitude of attenuation of said variable attenuator to a value which is in agreement with optical signal wavelength which amplification peak wavelength of said optical fiber amplifier should transmit and which carried out multi stage connection of two or more optical transmission lines via a relay amplifier.

A variable optical attenuator which decreases an optical signal which said relay amplifier has a magnitude-of-attenuation variable means which adjusts the magnitude of attenuation, and was inputted from said optical transmission line of the preceding paragraph.

An optical fiber amplifier which amplifies said optical signal inputted from this variable optical attenuator.

[Claim 3]The optical communication line according to claim 1 or 2, wherein said magnitude-of-attenuation variable means has an optical filter which adjusts said magnitude of attenuation with an angle of gradient to said optical signal.

[Claim 4]The optical communication line according to claim 1 or 2, wherein said optical fiber amplifier has an optical fiber which amplifies said optical signal by a stimulated emission of Er added as an active substance.

---

[Translation done.]

## **\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## **DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application]In an optical fiber communications system, about the optical communication line which connected two or more optical transmission lines to multistage via the relay amplifier, more, this invention is adjusted to details so that the amplification peak wavelength of a relay amplifier may be in agreement with the transmitted wave length of an optical signal, and it relates to the optical communication line which has a good transmission characteristic.

[0002]

[Description of the Prior Art]In recent years, in order to compensate the optical loss in optical transmission lines, such as an optical fiber, with long-distance-transmission-izing of an optical fiber communications system, the role of the relay amplifier is increasing importance. As this relay amplifier, many optical fiber amplifiers which have the optical fiber for amplification which added the rare earth element as an active substance are used for the core. And the composition which constructs an optical attenuator in the latter part of an optical fiber amplifier is common knowledge.

[0003]Such a relay amplifier amplifies an optical signal with a larger amplification factor than an amplification factor predetermined with an optical fiber amplifier, decreases an optical signal with an optical attenuator, and outputs it with a predetermined amplification factor. Since the power of the excitation light to which the amplification factor of an optical fiber amplifier is maintained by the comparatively large value, namely, excites the active substance in the optical fiber for amplification to it by this is held at a comparatively high value, the fall of the population inversion in an active substance is prevented. Therefore, the noise figure of the optical fiber for amplification is stabilized in a comparatively low value to the output power of an optical signal.

[0004]About such advanced technology, Literature "Societe des Electriciens et des Electroniens (SEE),2nd InternationalConference on Otical FiberSubmarine Telecommunication It is indicated to Systems and S14 Poster Session <1> pp.168-169-1993", "United States Patent, No.5187610", etc. in detail.

[0005]And in this relay amplifier, when an optical signal is amplified, the noise component distributed over the comparatively wide wavelength interval is added to the signal component which has a peak of light intensity by the transmitted wave length of an optical signal. Since the signal component is amplified with the larger amplification factor than a noise component when transmitted wave length has here the value which was mostly in agreement with the amplification peak wavelength of a relay amplifier, discriminating from a signal component and a noise component is easy. Since the noise component of amplification peak wavelength is amplified with the larger amplification factor than a signal component on the other hand when transmitted wave length has the value which was more greatly [ than amplification peak wavelength ] far apart, it is difficult to bury a signal component in a noise component and to discriminate from two ingredients.

[0006]Therefore, two or more optical transmission lines are connected to multistage via such a relay amplifier, and to the transmitted wave length of the determined optical signal, it is set up in the optical communication line which carries out amplification relay of the optical signal so that the amplification peak wavelength of a relay amplifier may be in agreement.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]Generally, the relation that the amplification peak wavelength of a relay amplifier is determined corresponding to a repeating span with the relay

amplifier of the preceding paragraph, i.e., the relay loss of an optical signal, is common knowledge.

[0008]The relation of a relay loss and amplification peak wavelength in case the material composition of the optical fiber for amplification in a relay amplifier differs is shown in drawing 5. In four kinds of optical fibers for amplification whose Al concentration coadded to the core is 3wt% and 0.4wt% and 0.05wt% and 0wt%, respectively, amplification peak wavelength is decreasing as a relay loss increases. The relation of a relay loss and amplification peak wavelength in case the fiber length of the optical fiber for amplification in a relay amplifier differs is shown in drawing 6. In three kinds of optical fibers for amplification whose fiber length is 25m, 18m, and 15m, respectively, amplification peak wavelength is decreasing as a relay loss increases. Therefore, it is possible by changing the material composition and fiber length of the optical fiber for amplification to adjust the amplification peak wavelength to a relay loss.

[0009]About such knowledge, It is indicated in detail to literature "IEEE/LEOS OSA, Optical Amplifiers and their Applications, Technical Digest S.vol.13, pp.82-85-1991", etc.

[0010]However, if the fiber length of the optical fiber for amplification becomes long excessively, degradation of the noise characteristic of a noise figure increasing will take place. When the material composition and fiber length of the optical fiber for amplification are changed, the zero dispersion wavelengths of an optical signal change and it may stop being in agreement with transmitted wave length. Therefore, after constructing an optical transmission line by an optical fiber etc., it is difficult [ it ] to change the transmitted wave length of an optical signal to adjust so that the amplification peak wavelength of a relay amplifier may be in agreement with the transmitted wave length.

Therefore, in the above-mentioned conventional optical communication line, when the transmitted wave length of an optical signal is changed, the problem that the transmission characteristic will deteriorate arises.

[0011]Then, this invention can be adjusted so that the amplification peak wavelength of a relay amplifier may be in agreement with the transmitted wave length of the changed optical signal, after solving the above-mentioned problem, constructing an optical transmission line and an optical fiber communications system's working, and the transmission characteristic aims at providing the optical communication line held good.

[0012]

[Means for Solving the Problem]In order to attain the above-mentioned purpose, in an optical communication line which carried out multi stage connection, this invention two or more optical transmission lines via a relay amplifier a relay amplifier, An optical fiber amplifier which amplifies an optical signal inputted from said optical transmission line of the preceding paragraph, Have a magnitude-of-attenuation variable means which adjusts the magnitude of attenuation, have a variable optical attenuator which decreases an optical signal inputted from an optical fiber amplifier, and is outputted to a latter optical transmission line, and the magnitude of attenuation of this variable attenuator, It is adjusted to a value which is in agreement with optical signal wavelength which amplification peak wavelength of a latter relay amplifier should transmit.

[0013]In order to attain the above-mentioned purpose, this invention two or more optical transmission lines in an optical communication line which carried out multi stage connection via a relay amplifier a relay amplifier, A variable optical attenuator which decreases an optical signal which has a magnitude-of-attenuation variable means which adjusts the magnitude of attenuation, and was inputted from an optical transmission line of the preceding paragraph, It has an optical fiber amplifier which amplifies an optical signal inputted from this variable optical attenuator, and the magnitude of attenuation of variable attenuator is adjusted to a value which is in agreement with optical signal wavelength which amplification peak wavelength of an optical fiber amplifier should transmit.

[0014]The above-mentioned magnitude-of-attenuation variable means is good also considering having an optical filter which adjusts the magnitude of attenuation with an angle of gradient to an optical signal as a feature.

[0015]The above-mentioned optical fiber amplifier is good also considering having an optical fiber which amplifies an optical signal by a stimulated emission of Er added as an active substance as a feature.

[0016]

[Function]According to the 1st mode of this invention, after being amplified with an optical fiber amplifier, the optical signal inputted into the relay amplifier from the optical transmission line of the

preceding paragraph is outputted in response to the predetermined attenuation set up beforehand with a variable optical attenuator, and is inputted into a latter relay amplifier via a latter optical transmission line. Generally, it corresponds to the relay loss of the optical signal in the optical transmission line of the preceding paragraph, and there is a relation that the amplification peak wavelength of a relay amplifier is determined.

[0017] In this invention, the magnitude of attenuation of a variable optical attenuator adjusts the relay loss of an optical signal together with the amount of losses of the optical signal in a latter optical transmission line, and it is set up so that the amplification peak wavelength of a latter relay amplifier may be in agreement with the transmitted wave length of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified with a latter relay amplifier by the state where a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0018] Therefore, by performing such relay amplification in multistage, an optical signal has a good noise characteristic and is amplified. Since the amplification peak wavelength of a latter relay amplifier can be adjusted corresponding to this even if the transmitted wave length of an optical signal is changed, when the magnitude of attenuation of the optical signal in a relay amplifier is variable, the transmission characteristic of an optical signal is held good.

[0019] According to the 2nd mode of this invention, after receiving the predetermined attenuation beforehand set up with the variable optical attenuator, the optical signal inputted into the relay amplifier from the optical transmission line of the preceding paragraph is amplified with an optical fiber amplifier, and is outputted to a latter optical transmission line. The magnitude of attenuation of this variable optical attenuator adjusts the relay loss of an optical signal together with the amount of losses of the optical signal in the optical transmission line of the preceding paragraph, and it is set up so that the amplification peak wavelength of an optical fiber amplifier may be in agreement with the transmitted wave length of an optical signal.

[0020] Therefore, almost like the 1st mode of the above, an optical signal has a good noise characteristic and is amplified. Since the amplification peak wavelength of an optical fiber amplifier can be adjusted corresponding to this even if the transmitted wave length of an optical signal is changed, when the magnitude of attenuation of the optical signal in a relay amplifier is variable, the transmission characteristic of an optical signal is held good.

[0021]

[Example] Hereafter, the composition and the operation of an example concerning this invention are explained with reference to drawing 1 thru/or drawing 8. In explanation of a drawing, identical codes are given to the same element and the overlapping explanation is omitted to it. The rate of a proportion of a drawing is not necessarily in agreement with the thing of explanation.

[0022] The composition of the 1st example concerning the optical communication line of this invention is shown in drawing 1. In this optical communication line, relay amplifier  $30_2 - 30_N$ , variable optical attenuator  $70_1$ , and optical fiber amplifier  $50_{N+1}$  have connected to N stage transmission-optical-fiber  $40_1$  constructed between the transmitter 10 and the receiver  $20 - 40_N$ .

[0023] The transmitter 10 is the usual laser diode (LD), and generates an optical signal in transmitted wave length  $\lambda_S$  of wavelength the band of 1.5 micrometers. Variable optical attenuator  $70_1$  has the same composition as variable optical attenuator  $70_2$  mentioned later -  $70_N$ , decreases the optical signal from a light emitting device by magnitude-of-attenuation  $A_1$ , and outputs it to optical fiber  $40_1$  for transmission of the first rank.

[0024] Optical fiber  $40_1$  for transmission -  $40_N$  are usual silica glass optical fiber, respectively. It has the path loss which serves as the minimum with wavelength the band of 1.5 micrometers, amount of losses  $L_0 - L_N$  are given to the optical signal from relay amplifier  $30_M$  of the preceding paragraph, respectively, and it transmits to latter relay amplifier  $30_{M+1}$ . Relay amplifier  $30_2 - 30_N$  have the composition mentioned later. It has amplification peak wavelength  $\lambda_P$  which was in agreement with transmitted wave length  $\lambda_S$  of wavelength the band of 1.5 micrometers, the optical signal from optical fiber  $40_{M-1}$  for transmission of the preceding paragraph is amplified by amplification factor  $G_2 - G_N$ , and it outputs to latter optical fiber  $40_M$  for transmission.

[0025] Optical fiber amplifier  $50_{N+1}$  has the same composition as optical fiber amplifier  $50_2$  mentioned later –  $50_N$ , and amplifies and outputs the optical signal from optical fiber  $40_N$  for transmission of a last stage by amplification factor  $G_{N+1}$ . The receiver 20 is the usual photo-diode (PD), and detects the optical signal from optical fiber amplifier  $50_{N+1}$ .

[0026] The composition of relay amplifier  $30_2 - 30_N$  is shown in drawing 2. Variable optical attenuator  $70_M$  is connected to the outgoing end of optical fiber amplifier  $50_M$  in relay amplifier  $30_M$ . Optical fiber amplifier  $50_M$  amplifies the optical signal from optical fiber  $40_{M-1}$  for transmission of the preceding paragraph by larger amplification factor  $G'_M$  than amplification factor  $G_M$ , and outputs it to variable optical attenuator  $70_M$ . Variable optical attenuator  $70_M$  decreases the optical signal from optical fiber amplifier  $50_M$  by magnitude-of-attenuation  $A_M$ , and outputs it to latter optical fiber  $40_M$  for transmission by amplification factor  $G_M$  as relay amplifier  $30_M$  after all.

[0027] The composition of optical fiber amplifier  $50_2 - 50_N$  is shown in drawing 3. The course for amplification in which an optical signal results [ from the optical multiplexing machine 54 ] in the light branching machine 59 through the optical isolator 55, the optical fiber 57 for amplification, the optical isolator 56, and the optical filter 58 comprises optical fiber amplifier  $50_M$ . The branched route with the excitation light from the excitation light source 53 to [ branched route ] the optical multiplexing machine 54 and the branched route with a part of optical signal from the light branching machine 59 to [ branched route ] the photodetector 60 are constituted, respectively. Wiring which electrically connects between the photodetector 60, the control circuit 51, the driving source 52, and the excitation light sources 53 is given.

[0028] The excitation light source 53 is the usual LD, generates the excitation light with a wavelength of 1.48 micrometers which has the light intensity corresponding to the driving current from the driving source 52, and outputs this to the optical multiplexing machine 54. The optical multiplexing machine 54 is a 2 to 1 wavelength-multiplexing division fiber coupler of a melting roll, multiplexes and outputs the excitation light from the optical signal and the excitation light source 53 from optical fiber  $40_{M-1}$  for transmission of the preceding paragraph to the optical isolator 55. The optical isolator 55 is a polarization-independent type optical isolator, and outputs the optical signal and excitation light from the optical multiplexing machine 54 only to other one way at the optical fiber 57 for amplification.

[0029] The optical fiber 57 for amplification is Er addition silica glass optical fiber (EDF) which a little erbium (Er) ion added as an active substance to the core, By the stimulated emission of Er ion excited by the excitation light from the optical isolator 55, the optical signal from the optical isolator 55 is amplified, and it outputs to the optical isolator 56. The optical isolator 56 is a polarization-independent type optical isolator, and outputs the optical signal from the optical fiber 57 for amplification to the optical filter 58 only in other one way. The optical filter 58 is the usual band pass filter.

It has the transmission center wavelength which was in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal, and a noise component and an excitation light ingredient are removed from the optical signal from the optical isolator 56.

[0030] The light branching machine 59 is an one-pair dichotomy fiber coupler of a melting roll, branches to the photodetector 60 and variable optical attenuator  $70_M$  by branching ratio  $a$ :  $(1-a)$ , and outputs the optical signal from the optical filter 58. It is usual PD, and the photodetector 60 detects the optical signal from the light branching machine 59, and photoelectric conversion is carried out to the measurement signal corresponding to the light intensity, and it outputs it to it. The control circuit 51 outputs a control signal based on the measurement signal from the photodetector 60. The driving source 52 outputs the driving current which has a current value corresponding to the control signal from the control circuit 51.

[0031] The composition of variable optical attenuator  $70_1 - 70_N$  is shown in drawing 4. The course for attenuation in which an optical signal results [ from the collimating lens 71 ] in the collimator 72 through the magnitude-of-attenuation variable region 73 comprises variable optical attenuator  $70_M$ .

The collimating lens 71 outputs the optical signal emitted and inputted from optical fiber amplifier 50<sub>M</sub> as a parallel beam. In the magnitude-of-attenuation variable region 73, the rotating ND (Neutral Density) filters 74 and 75 of two sheets lean to the light flux of an optical signal, for example, it is arranged at Ha's shape, and the magnitude of attenuation changes with each angles of rotation continuously. By reflecting a part of optical signal from the collimating lens 71 outside with ND filters 74 and 75, this magnitude-of-attenuation variable region 73 decreases an optical signal, and outputs it to the collimating lens 72. The collimating lens 72 converges the optical signal inputted as a parallel beam from the magnitude-of-attenuation variable region 73, and outputs it to optical fiber 70<sub>M</sub> for transmission.

[0032] Transmitted wave length  $\lambda_s$  of the optical signal generated from the light emitting device of the transmitter 10 is set up so that optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission - amount of losses  $L_1$  in 40<sub>N</sub> -  $L_N$  may serve as the minimum value, respectively. So that optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission - amount of losses  $L_1$  in 40<sub>N</sub> -  $L_N$  may be compensated, respectively, Amplification factor  $G_2$  in relay amplifier 30<sub>2</sub> - 30<sub>N</sub>, and optical fiber amplifier 70<sub>N+1</sub> -  $G_{N+1}$  are set up, respectively.

[0033] So that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  in optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N+1</sub> may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal, respectively, In order to adjust the relay loss doubled with optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission - amount of losses  $L_1$  in 40<sub>N</sub> -  $L_N$ , variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - magnitude-of-attenuation  $A_1$  in 70<sub>N</sub> -  $A_N$  are set up, respectively. It corresponds to variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - magnitude-of-attenuation  $A_1$  in 70<sub>N-1</sub> -  $A_{N-1}$ . So that it may become respectively larger enough than the value which needs for realization of relay amplifier 30<sub>2</sub> - amplification factor  $G_2$  in 30<sub>N</sub> -  $G_N$  the power of the excitation light inputted into the optical fiber 57 for amplification of optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N</sub>, Amplification factor  $G'_2$  -  $G'_N$  in optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N</sub> is set up, respectively.

[0034] So that the fiber length of the optical fiber 57 for amplification in optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N+1</sub> is long, As for the fiber length, since the margin of the relay loss which can be adjusted by magnitude-of-attenuation  $A_0$  in variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - 70<sub>N</sub> -  $A_N$  is extended, it is desirable to set up in the range which does not degrade the noise characteristic of an optical signal as for a long time as possible.

[0035] Next, an operation of the 1st example of the above is explained.

[0036] In optical fiber amplifier 50<sub>M</sub> of relay amplifier 30<sub>M</sub>, the driving source 52 outputs the driving current which has a current value corresponding to the control signal from the control circuit 51, and outputs the excitation light in which the excitation light source 53 has the light intensity corresponding to the driving current from the driving source 52. The excitation light outputted from the excitation light source 53 is inputted into the optical fiber 57 for amplification via the optical multiplexing machine 54 and the optical isolator 55, and excites Er ion of the active substance added to the core. The excitation light outputted from the optical fiber 57 for amplification is inputted into an optical filter via the optical isolator 55, and is removed from the course for amplification by absorption or reflection.

[0037] In this state, the optical signal from optical fiber 40<sub>M-1</sub> for transmission of the preceding paragraph, It inputs into the optical fiber 57 for amplification via the optical multiplexing machine 54 and the optical isolator 55, and is amplified by the stimulated emission of Er ion excited with the core by amplification factor  $G'_M$  corresponding to the power of excitation light, respectively. The excitation light outputted from the optical fiber 57 for amplification is inputted into the optical filter 58 via the optical isolator 55, and noise light is removed. With the light branching machine 59, the optical signal outputted from the optical filter 58 branches to the photodetector 60 and variable optical attenuator 70<sub>M</sub> by branching ratio  $a$ :  $(1-a)$ , and is outputted. The measurement signal corresponding to [ detect an optical signal and ] the light intensity while the photodetector 60 branched with the light branching machine 59 is outputted. The control circuit 51 performs feedback control so that the light intensity of the excitation light which outputs a control signal based on the measurement signal from the

photodetector 60, and is outputted from the excitation light source 53 may become fixed.

[0038] In variable optical attenuator  $70_M$  of relay amplifier  $30_M$ , the optical signal emitted and inputted turns into a parallel beam from optical fiber amplifier  $50_M$  with the collimating lens 71. A part is reflected outside with two ND filters 74 and 75 of the magnitude-of-attenuation variable region 73, and the optical signal from the collimating lens 71 is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_M$  corresponding to each angle of rotation. It converges with the collimating lens 72 and the optical signal outputted as a parallel beam from the magnitude-of-attenuation variable region 73 is outputted to latter optical fiber  $40_M$  for transmission.

[0039] In the optical communication line using such relay amplifier  $30_2 - 30_N$ . It generates with the transmitter 10, it decreases by magnitude-of-attenuation  $A_1$  by variable optical attenuator  $70_1$ , and is outputted, and the optical signal of transmitted wave length  $\lambda_S$  loses amount of losses  $L_1$  by optical fiber  $40_1$  for transmission, and is transmitted. The optical signal inputted into relay amplifier  $30_2$  is amplified by amplification factor  $G'_2$  by optical fiber amplifier  $50_2$ . Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_1$  corresponding to amount of losses  $L_1$ , the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_P$  of optical fiber amplifier  $50_2$  may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_S$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0040] This amplified optical signal is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_2$  by variable optical attenuator  $70_2$ , is outputted from relay amplifier  $30_2$ , is lost in amount of losses  $L_2$  by optical fiber  $40_2$  for transmission, and is transmitted. However, in relay amplifier  $30_2$ , after an optical signal is amplified by amplification factor  $G'_2$ , it is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_2$ , and it is amplified by amplification factor  $G_2$  as a result. The optical signal inputted into relay amplifier  $30_3$  is amplified by amplification factor  $G'_3$  by optical fiber amplifier  $50_3$ . Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_2$  corresponding to amount of losses  $L_2$ , the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_P$  of optical fiber amplifier  $50_3$  may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_S$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0041] This amplified optical signal is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_3$  by variable optical attenuator  $70_3$ , is outputted from relay amplifier  $30_3$ , is lost in a loss by optical fiber  $40_3$  for transmission at amount of losses  $L_3$ , and is transmitted. However, in relay amplifier  $30_3$ , after an optical signal is amplified by amplification factor  $G'_3$ , it is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_3$ , and it is amplified by amplification factor  $G_3$  as a result.

[0042] Hereafter, such relay amplification is performed in multistage. And the optical signal inputted into relay amplifier  $30_N$  is amplified by amplification factor  $G'_N$  by optical fiber amplifier  $50_N$ . Here by changing magnitude-of-attenuation  $A_{N-1}$  of variable optical attenuator  $70_{N-1}$  corresponding to amount of losses  $L_{N-1}$  of optical fiber  $40_{N-1}$  for transmission, The relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_P$  of optical fiber amplifier  $50_N$  may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_S$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0043] This amplified optical signal is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_N$  by variable optical attenuator  $70_N$ , is outputted from relay amplifier  $30_N$ , is lost in amount of losses  $L_N$  by optical fiber  $40_N$  for transmission, and is transmitted. However, in relay amplifier  $30_N$ , after an optical signal is amplified by amplification factor  $G'_N$ , it is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_N$ , and it is amplified by amplification factor  $G_N$  as a result. The optical signal inputted into optical fiber amplifier



50<sub>N+1</sub> is amplified by amplification factor  $G_{N+1}$ . Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_N$  corresponding to amount of losses  $L_N$ , the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber amplifier 50<sub>N+1</sub> may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component. This amplified optical signal is inputted into the receiver 20, and is detected.

[0044]The relation of the relay loss and amplification peak wavelength in optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N+1</sub> is shown in drawing 5 and drawing 6. In such an optical fiber communications system, transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal to 1560 micrometers. Optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission - amount of losses  $L_1$  of 40<sub>N</sub> -  $L_N$ , respectively 10 dB, When variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - magnitude-of-attenuation  $A_1$  of 70<sub>N</sub> -  $A_N$  are set as 0 dB, respectively, in drawing 5 and drawing 6, amplification peak wavelength  $\lambda_p$  is in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$ .

[0045]Here, if transmitted wave length  $\lambda_s$  is changed into 1558 micrometers, amplification peak wavelength  $\lambda_p$  continues being 1560 micrometers, and the transmission characteristic of an optical signal will deteriorate. Then, by setting variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - magnitude-of-attenuation  $A_1$  of 70<sub>N</sub> -  $A_N$  as 5 dB, respectively, Since amplification peak wavelength  $\lambda_p$  can make it in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  according to drawing 5 and drawing 6, an optical signal has a good noise characteristic and is amplified.

[0046]Therefore, since amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N+1</sub> can be adjusted corresponding to this even if transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal is changed, the transmission characteristic of an optical signal is held good.

[0047]The composition of the 2nd example concerning the optical communication line of this invention is shown in drawing 7. In this optical communication line, relay amplifier 30<sub>1</sub> - 30<sub>N</sub> have connected to N stage transmission-optical-fiber 40<sub>1</sub> constructed between the transmitter 10 and the receiver 20 - 40<sub>N</sub>. Here, except for relay amplifier 30<sub>1</sub> - 30<sub>N</sub>, the inside of the transmitter 10, optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission - 40<sub>N</sub>, and the receiver 20 is constituted like the 1st example of the above.

[0048]The composition of relay amplifier 30<sub>1</sub> - 30<sub>N</sub> is shown in drawing 8. Optical fiber amplifier 50<sub>M</sub> is connected to the outgoing end of variable optical attenuator 70<sub>M</sub> in relay amplifier 30<sub>M</sub>. Variable optical attenuator 70<sub>M</sub> decreases the optical signal from optical fiber 40<sub>M</sub> for transmission of the preceding paragraph by magnitude-of-attenuation  $A_M$ , and outputs it to optical fiber amplifier 50<sub>M</sub>. Optical fiber amplifier 50<sub>M</sub> amplifies the optical signal from variable optical attenuator 70<sub>M</sub> by amplification factor  $G_M$ , and outputs it to latter optical fiber 40<sub>M+1</sub> for transmission. Here, the inside of variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - 70<sub>N</sub> and optical fiber amplifier 50<sub>1</sub> - 50<sub>N</sub> is constituted like the 1st example of the above.

[0049]So that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  in optical fiber amplifier 50<sub>1</sub> - 50<sub>N</sub> may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal, respectively, In order to adjust the relay loss doubled with optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission - amount of losses  $L_1$  in 40<sub>N</sub> -  $L_N$ , variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - magnitude-of-attenuation  $A_1$  in 70<sub>N</sub> -  $A_N$  are set up, respectively.

[0050]Next, an operation of the 2nd example of the above is explained.

[0051]In variable optical attenuator 70<sub>M</sub> of relay amplifier 30<sub>M</sub>, the optical signal emitted and inputted turns into a parallel beam from optical fiber 40<sub>M</sub> for transmission of the preceding paragraph with the collimating lens 71. A part is reflected outside with two ND filters 74 and 75 of the magnitude-of-attenuation variable region 73, and the optical signal from the collimating lens 71 is

decreased by magnitude-of-attenuation  $A_M$  corresponding to each angle of rotation. It converges with the collimating lens 72 and the optical signal outputted as a parallel beam from the magnitude-of-attenuation variable region 73 is outputted to optical fiber amplifier 50<sub>M</sub>.

[0052]In optical fiber amplifier 50<sub>M</sub> of relay amplifier 30<sub>M</sub>, the driving source 52 outputs the driving current which has a current value corresponding to the control signal from the control circuit 51, and outputs the excitation light in which the excitation light source 53 has the light intensity corresponding to the driving current from the driving source 52. The excitation light outputted from the excitation light source 53 is inputted into the optical fiber 57 for amplification via the optical multiplexing machine 54 and the optical isolator 55, and excites Er ion of the active substance added to the core. The excitation light outputted from the optical fiber 57 for amplification is inputted into an optical filter via the optical isolator 55, and is removed from the course for amplification by absorption or reflection.

[0053]this — a state — a variable optical attenuator — 70 — <sub>M</sub> — from — an optical signal — optical multiplexing — a vessel — 54 — an optical isolator — 55 — passing — amplification — \*\* — an optical fiber — 57 — inputting — the — a core — having excited — Er — ion — a stimulated emission — excitation light — power — having corresponded — an amplification factor —  $G$  — ' — <sub>M</sub> — respectively — amplifying — having . The excitation light outputted from the optical fiber 57 for amplification is inputted into the optical filter 58 via the optical isolator 55, and noise light is removed. With the light branching machine 59, the optical signal outputted from the optical filter 58 branches by branching ratio  $a$ :  $(1-a)$  to optical fiber 40<sub>M+1</sub> for transmission of the photodetector 60 and the latter part, and is outputted. The measurement signal corresponding to [ detect an optical signal and ] the light intensity while the photodetector 60 branched with the light branching machine 59 is outputted. The control circuit 51 performs feedback control so that the light intensity of the excitation light which outputs a control signal based on the measurement signal from the photodetector 60, and is outputted from the excitation light source 53 may become fixed.

[0054]In the optical communication line using such relay amplifier 30<sub>1</sub> - 30<sub>N</sub>, it generates with the transmitter 10, and the optical signal of transmitted wave length  $\lambda_s$  loses in amount of losses  $L_1$  by optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission, and is transmitted. The optical signal inputted into relay amplifier 30<sub>1</sub> is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_1$  by variable optical attenuator 70<sub>1</sub>, and, in the back, is amplified by amplification factor  $G_1$  by optical fiber amplifier 50<sub>1</sub>. Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_1$  corresponding to amount of losses  $L_1$ , the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber amplifier 50<sub>1</sub> may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0055]The optical signal outputted by amplifying from relay amplifier 30<sub>1</sub> is lost in amount of losses  $L_2$  by optical fiber 40<sub>2</sub> for transmission, and is transmitted. After decreasing the optical signal inputted into relay amplifier 30<sub>2</sub> by magnitude-of-attenuation  $A_2$  by variable optical attenuator 70<sub>2</sub>, it is amplified by amplification factor  $G_2$  by optical fiber amplifier 50<sub>2</sub>. Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_2$  corresponding to amount of losses  $L_2$ , the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0056]Hereafter, such relay amplification is performed in multistage. And after decreasing the optical signal inputted into relay amplifier 30<sub>N</sub> by magnitude-of-attenuation  $A_N$  by variable optical attenuator 70<sub>N</sub>, it is amplified by amplification factor  $G_N$  by optical fiber amplifier 50<sub>N</sub>. Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_N$  corresponding to amount of losses  $L_N$  of optical fiber 40<sub>N</sub> for transmission, the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber

amplifier 50<sub>N</sub> may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal.

Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0057] Therefore, since amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber amplifier 50<sub>1</sub> - 50<sub>N</sub> can be adjusted corresponding to this even if transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal is changed, the transmission characteristic of an optical signal is held good.

[0058] This invention is not restricted to many above-mentioned examples, and various modification is possible for it.

[0059] For example, although Er added optical fiber is used as an optical fiber for amplification of an optical fiber amplifier in many above-mentioned examples, This is replaced by usual silica glass optical fiber, and even if it uses an optical fiber amplifier as a Raman amplifier by using Nd:YAG laser etc. as the excitation light source, the same operation effect is obtained.

[0060] In many above-mentioned examples, although the ND filter is used as a magnitude-of-attenuation variable means of a variable optical attenuator, optical density should just use a neutral, i.e., the thing which does not almost have wavelength dependency in the magnitude of attenuation.

[0061] In many above-mentioned examples, although the optical fiber is used as an optical transmission line between two relay amplifiers, it may be replaced by transmission and the space propagation by an optical waveguide etc.

[0062]

[Effect of the Invention] As mentioned above, according to this invention, the magnitude of attenuation of the optical signal in a relay amplifier adjusts the relay loss of an optical signal together with the amount of losses of the optical signal in the optical transmission line of the preceding paragraph or the latter part, and it is set up to have explained in detail so that the amplification peak wavelength of a relay amplifier may be in agreement with the transmitted wave length of an optical signal. Therefore, by performing such relay amplification in multistage, an optical signal has a good noise characteristic and is amplified.

[0063] Since an optical signal is amplified by a good noise characteristic with a relay amplifier when the magnitude of attenuation of the optical signal in a relay amplifier is variable even if the transmitted wave length of an optical signal is changed, the transmission characteristic of an optical signal is held good.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]It is a lineblock diagram showing the 1st example concerning the optical communication line of this invention.

[Drawing 2]It is a lineblock diagram showing the relay amplifier in the optical communication line shown in drawing 1.

[Drawing 3]It is a lineblock diagram showing the optical fiber amplifier in the relay amplifier shown in drawing 2.

[Drawing 4]It is a lineblock diagram showing the variable optical attenuator in the relay amplifier shown in drawing 2.

[Drawing 5]It is a plot showing the relation of a relay loss and amplification peak wavelength in case the material composition of the optical fiber for amplification in a relay amplifier differs.

[Drawing 6]It is a plot showing the relation of a relay loss and amplification peak wavelength in case the fiber length of the optical fiber for amplification in a relay amplifier differs.

[Drawing 7]It is a lineblock diagram showing the 2nd example concerning the optical communication line of this invention.

[Drawing 8]It is a lineblock diagram showing the relay amplifier in the optical communication line shown in drawing 7.

[Description of Notations]

10 -- A transmitter, 20 -- A receiver,  $30_1 - 30_N$  -- Relay amplifier,  $40_1 - 40_N$  -- The optical fiber for transmission,  $50_1 - 50_N$  -- Optical fiber amplifier, 51 [ -- Optical multiplexing machine, ] -- A control circuit, 52 -- A driving source, 53 -- The excitation light source, 54 55, 56 [ -- A light branching machine, 60 / -- A photodetector,  $70_1 - 70_N$  / -- A variable optical attenuator, 71, 72 / -- A collimating lens, 73 / -- A magnitude-of-attenuation variable region, 74, 75 / -- ND filter. ] -- An optical isolator, 57 -- The optical fiber for amplification, 58 -- An optical filter, 59

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

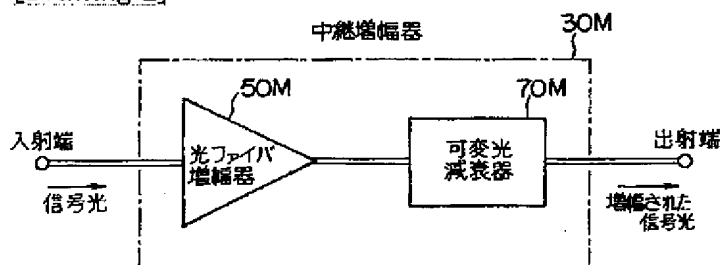
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

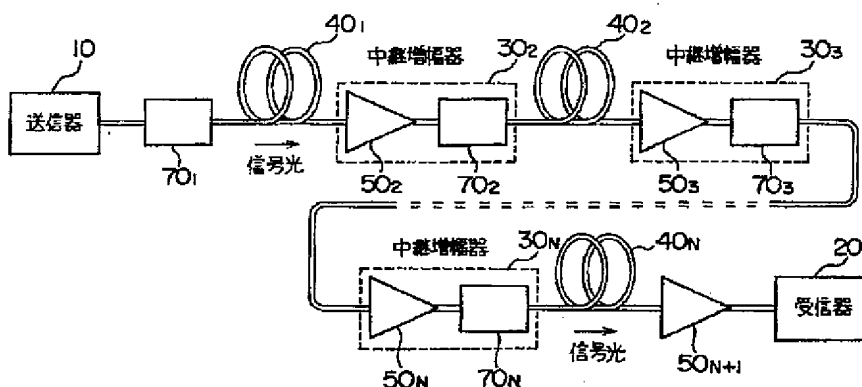
3.In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

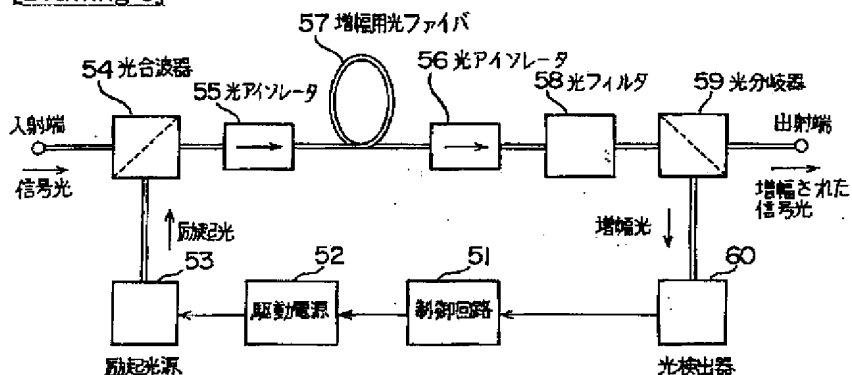
[Drawing 2]



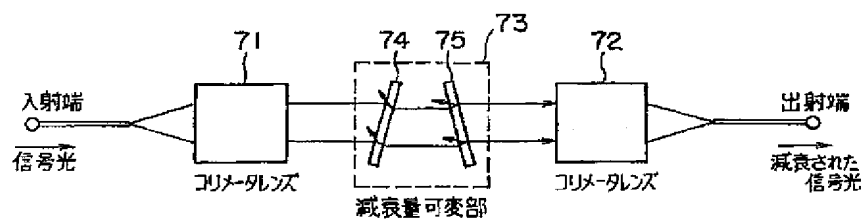
[Drawing 1]



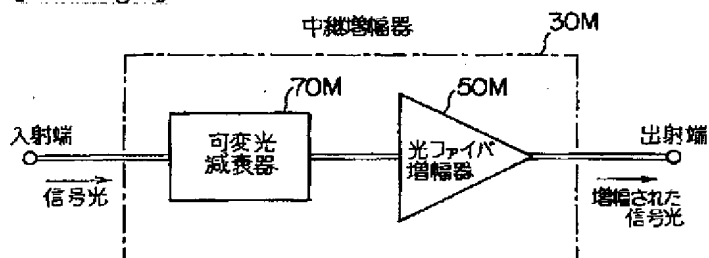
[Drawing 3]



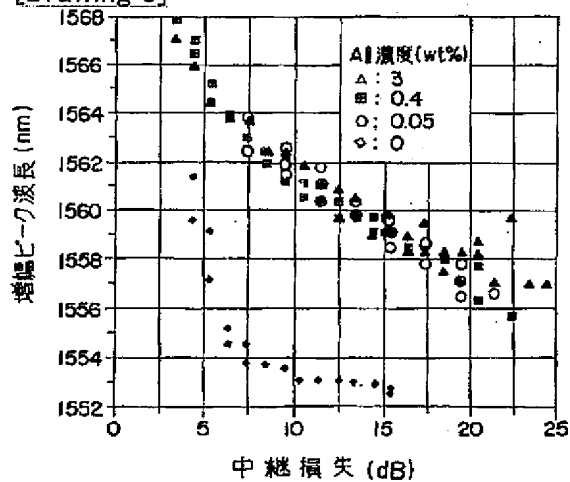
[Drawing 4]



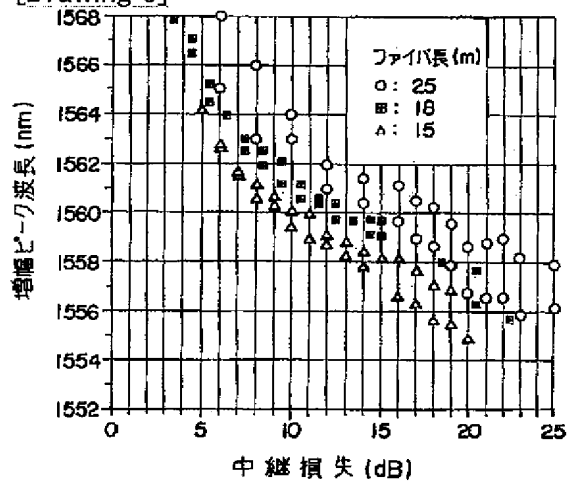
[Drawing 8]



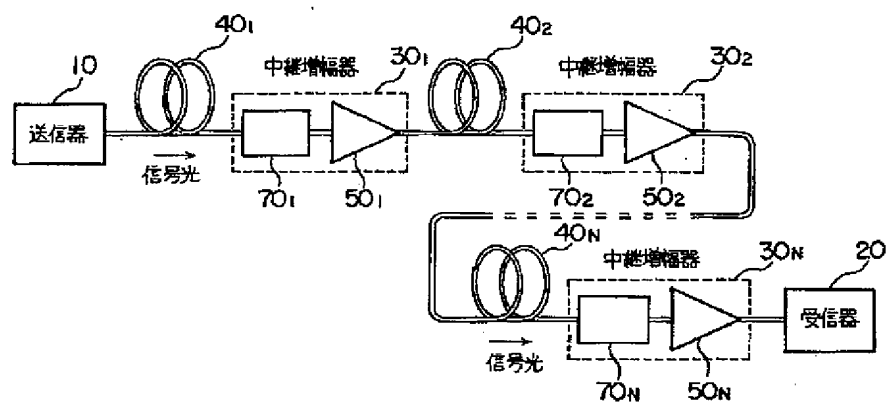
[Drawing 5]



[Drawing 6]



[Drawing 7]



[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CORRECTION OR AMENDMENT**

---

[Kind of official gazette]Printing of amendment by the regulation of 2 of Article 17 of Patent Law  
[Section classification] The 3rd classification of the part VII gate  
[Publication date]July 9, Heisei 11 (1999)

[Publication No.]JP,7-154338,A  
[Date of Publication]June 16, Heisei 7 (1995)  
[Annual volume number] Publication of patent applications 7-1544  
[Application number]Japanese Patent Application No. 5-274492  
[International Patent Classification (6th Edition)]

H04B 10/17

10/16

G02F 1/35

H01S 3/07

3/10

H04B 10/02

10/18

[FI]

H04B 9/00 J

G02F 1/35

H01S 3/07

3/10 Z

H04B 9/00 M

[Written amendment]

[Filing date]June 3, Heisei 10

[Amendment 1]

[Document to be Amended]Specification

[Item(s) to be Amended]Whole sentence

[Method of Amendment]Change

[Proposed Amendment]

[Document Name]Specification

[Title of the Invention]A lightwave signal transmission method and a relay amplifier

[Claim(s)]

[Claim 1]It is a lightwave signal transmission method which amplifies an optical signal with an optical fiber amplifier which receives a lightwave signal from a variable optical attenuator,



A lightwave signal transmission method adjusting so that it may become the same as wavelength of an optical signal which adjusts the magnitude of attenuation of said variable optical attenuator, and to which amplification peak wavelength of said optical fiber amplifier is transmitted.

[Claim 2] It is a lightwave signal transmission method which amplifies a lightwave signal with a preceding paragraph optical fiber amplifier, and amplifies a lightwave signal from a variable optical attenuator which receives this amplified lightwave signal with a latter-part optical fiber amplifier, A lightwave signal transmission method adjusting so that it may become the same as wavelength of an optical signal which adjusts a relay loss between said preceding paragraph optical fiber amplifier and said latter-part optical fiber amplifier by the magnitude of attenuation of said variable optical attenuator, and is transmitted in amplification peak wavelength of said latter-part optical fiber amplifier.

[Claim 3] Said preceding paragraph optical fiber amplifier and said variable optical attenuator are lightwave signal transmission methods to claim 2 constituting a relay amplifier.

[Claim 4] Said variable optical attenuator and said latter-part optical fiber amplifier are lightwave signal transmission methods to claim 2 constituting a relay amplifier.

[Claim 5] It is the relay amplifier provided with an optical fiber amplifier and a variable optical attenuator connected to an input of this optical fiber amplifier,

A relay amplifier being able to adjust said variable optical attenuator so that it may become the same as wavelength of an optical signal transmitted in amplification peak wavelength of said optical fiber amplifier.

[Claim 6] It is the relay amplifier provided with an optical fiber amplifier and a variable optical attenuator connected to an output of this optical fiber amplifier,

A relay amplifier, wherein said variable optical attenuator can adjust amplification peak wavelength of an optical fiber amplifier which receives an optical signal which this variable optical attenuator outputs so that it may become the same as wavelength of said optical signal.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the lightwave signal transmission method and relay amplifier in the optical communication line which connected two or more optical transmission lines to multistage via the relay amplifier in an optical fiber communications system. It is related with the lightwave signal transmission method and relay amplifier which can be adjusted so that the amplification peak wavelength of a relay amplifier may be more in agreement with the transmitted wave length of an optical signal at details.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, in order to compensate the optical loss in optical transmission lines, such as an optical fiber, with long-distance-transmission-izing of an optical fiber communications system, the role of the relay amplifier is increasing importance. As this relay amplifier, many optical fiber amplifiers which have the optical fiber for amplification which added the rare earth element as an active substance are used for the core. And the composition which constructs an optical attenuator in the latter part of an optical fiber amplifier is common knowledge.

[0003] Such a relay amplifier amplifies an optical signal with a larger amplification factor than an amplification factor predetermined with an optical fiber amplifier, decreases an optical signal with an optical attenuator, and outputs it with a predetermined amplification factor. Since the power of the excitation light to which the amplification factor of an optical fiber amplifier is maintained by the comparatively large value, namely, excites the active substance in the optical fiber for amplification to it by this is held at a comparatively high value, the fall of the population inversion in an active substance is prevented. Therefore, the noise figure of the optical fiber for amplification is stabilized in a comparatively low value to the output power of an optical signal.

[0004] About such advanced technology,

The literature 1, "Societe des Electriciens et des Electroniens(SEE), 2nd International Conference on Optical Fiber Submarine Telecommunication Systems and S14 Poster Session <1> pp.168-169-1993",

The literature 2, "United States Patent, No.5187610"

It is indicated in detail to \*\*\*\*.

[0005] And in this relay amplifier, when multi stage amplification of the optical signal is carried out, the noise component distributed over the comparatively wide wavelength interval is added to the signal

component which has a peak of light intensity in proportion to amplification gain by the transmitted wave length of an optical signal. When transmitted wave length has here the value which was mostly in agreement with the amplification peak wavelength of a relay amplifier, the signal component is the same as a relay loss, or since the signal component can maintain sufficient intensity ratio to a noise component if amplified with the larger amplification factor, discriminating from this is easy. Since the signal component cannot maintain sufficient intensity ratio to a noise component when transmitted wave length, on the other hand, has the value which was more greatly [ than amplification peak wavelength ] far apart and the signal component is amplified with the amplification factor smaller than a relay loss, it is difficult to bury a signal component in a noise component and to discriminate from two ingredients.

[0006] Therefore, two or more optical transmission lines are connected to multistage via such a relay amplifier, and to the transmitted wave length of the determined optical signal, it is set up in the optical communication line which carries out amplification relay of the optical signal so that the amplification peak wavelength of a relay amplifier may be in agreement.

[0007] The literature 3, "Over IMDD 2-channel WDM Transmission Experiments at 5Gbit/s Using 138 In-line Er-doped Fiber Amplifiers", Wavelength multiplexing art is adopted in OFC93 PD3, the 21st page – the 24th page, and (February, 1993), and two or more signal wave length is transmitted to it using the relay amplifier having contained the Er-doped-optical-fiber amplifier. Transmitted wave length is 1557 nm and 1559 nm, and it is determined that the transmitted wave length field which such an optical fiber amplifier amplifies, i.e., the amplification peak wavelength of a relay amplifier, will contain these transmitted wave length. If a relay amplifier is used, both such transmission signal wavelength will be amplified and long-distance transmission will become possible.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Generally, the relation that the amplification peak wavelength of a relay amplifier is determined corresponding to a repeating span with the relay amplifier of the preceding paragraph, i.e., the relay loss of an optical signal, is common knowledge.

[0009] The relation of a relay loss and amplification peak wavelength in case the material composition of the optical fiber for amplification in a relay amplifier differs is shown in drawing 5. In four kinds of optical fibers for amplification whose Al concentration coadded to the core is 3wt% and 0.4wt% and 0.05wt% and 0wt%, respectively, amplification peak wavelength is decreasing as a relay loss increases. The relation of a relay loss and amplification peak wavelength in case the fiber length of the optical fiber for amplification in a relay amplifier differs is shown in drawing 6. In three kinds of optical fibers for amplification whose fiber length is 25m, 18m, and 15m, respectively, amplification peak wavelength is decreasing as a relay loss increases. Therefore, it is possible by changing the material composition and fiber length of the optical fiber for amplification to adjust the amplification peak wavelength to a relay loss.

[0010] About such knowledge, it is indicated in detail to literature "IEEE/LEOS OSA, Optical Amplifiers and their Applications, Technical Digest S.vol.13, pp.82-85-1991", etc.

[0011] However, if the fiber length of the optical fiber for amplification becomes long excessively when indicated in the literature 3 from the literature 1, degradation of the noise characteristic of a noise figure increasing will take place. When the material composition and fiber length of the optical fiber for amplification are changed, the zero dispersion wavelengths of an optical signal change and it may stop being in agreement with transmitted wave length. Therefore, after constructing an optical transmission line by an optical fiber etc., it is difficult [ it ] to change the transmitted wave length of an optical signal to adjust so that the amplification peak wavelength of a relay amplifier may be in agreement with the transmitted wave length. Therefore, in the above-mentioned conventional optical communication line of the literature 1 to the literature 3, when the transmitted wave length of an optical signal is changed, the problem that the transmission characteristic will deteriorate arises.

[0012] Then, this invention solves the above-mentioned problem and an object of this invention is to provide the lightwave signal transmission method and relay amplifier which can be adjusted so that the amplification peak wavelength of a relay amplifier may be in agreement with the transmitted wave length of the changed optical signal, after it constructs an optical transmission line and an optical fiber communications system works.

[0013]

[Means for Solving the Problem] A lightwave signal transmission method of this invention is a lightwave signal transmission method which amplifies an optical signal with an optical fiber amplifier

which receives a lightwave signal from a variable optical attenuator, it adjusts the magnitude of attenuation of a variable optical attenuator, and it adjusts it so that it may become the same as wavelength of an optical signal to which amplification peak wavelength of an optical fiber amplifier is transmitted.

[0014]A lightwave signal transmission method of this invention amplifies a lightwave signal with a preceding paragraph optical fiber amplifier, It is a lightwave signal transmission method which amplifies a lightwave signal from a variable optical attenuator which receives this amplified lightwave signal with a latter-part optical fiber amplifier, A relay loss between a preceding paragraph optical fiber amplifier and a latter-part optical fiber amplifier is adjusted by the magnitude of attenuation of a variable optical attenuator, and it adjusts so that it may become the same as wavelength of an optical signal transmitted in amplification peak wavelength of a latter-part optical fiber amplifier.

[0015]It may be made for a preceding paragraph optical fiber amplifier and a variable optical attenuator to constitute a relay amplifier from a lightwave signal transmission method of this invention.

[0016]It may be made for a variable optical attenuator and a latter-part optical fiber amplifier to constitute a relay amplifier from a lightwave signal transmission method of this invention.

[0017]A relay amplifier of this invention is a relay amplifier provided with an optical fiber amplifier and a variable optical attenuator connected to an input of this optical fiber amplifier, and a variable optical attenuator can be adjusted so that it may become the same as wavelength of an optical signal transmitted in amplification peak wavelength of an optical fiber amplifier.

[0018]A relay amplifier of this invention is an optical fiber amplifier and a variable optical attenuator connected to an output of this optical fiber amplifier a relay amplifier which it had, and a variable optical attenuator, Amplification peak wavelength of an optical fiber amplifier which receives an optical signal which this variable optical attenuator outputs can be adjusted so that it may become the same as wavelength of an optical signal.

[0019]

[Function]According to this invention, after the optical signal inputted into the relay amplifier from the optical transmission line of the preceding paragraph is amplified with an optical fiber amplifier, it is outputted in response to the predetermined attenuation set up beforehand with a variable optical attenuator, and is inputted into a latter relay amplifier via a latter optical transmission line. Generally, it corresponds to the relay loss of the optical signal in the optical transmission line of the preceding paragraph, and there is a relation that the amplification peak wavelength of a relay amplifier is determined.

[0020]In this invention, the magnitude of attenuation of a variable optical attenuator adjusts the relay loss of an optical signal together with the amount of losses of the optical signal in a latter optical transmission line, and it is set up so that the amplification peak wavelength of a latter relay amplifier may be in agreement with the transmitted wave length of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified with a latter relay amplifier by the state where a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0021]Therefore, by performing such relay amplification in multistage, an optical signal has a good noise characteristic and is amplified. Since the amplification peak wavelength of a latter relay amplifier can be adjusted corresponding to this even if the transmitted wave length of an optical signal is changed, when the magnitude of attenuation of the optical signal in a relay amplifier is variable, the transmission characteristic of an optical signal is held good.

[0022]According to this invention, after the optical signal inputted into the relay amplifier from the optical transmission line of the preceding paragraph receives the predetermined attenuation beforehand set up with the variable optical attenuator, it is amplified with an optical fiber amplifier and outputted to a latter optical transmission line. The magnitude of attenuation of this variable optical attenuator adjusts the relay loss of an optical signal together with the amount of losses of the optical signal in the optical transmission line of the preceding paragraph, and it is set up so that the amplification peak wavelength of an optical fiber amplifier may be in agreement with the transmitted wave length of an optical signal.

[0023]Therefore, by performing such relay amplification in multistage, an optical signal has a good noise characteristic and is amplified. Since the amplification peak wavelength of an optical fiber amplifier can be adjusted corresponding to this even if the transmitted wave length of an optical signal is changed, when the magnitude of attenuation of the optical signal in a relay amplifier is

variable, the transmission characteristic of an optical signal is held good.

[0024]

[Example] Hereafter, the composition and the operation of an example concerning this invention are explained with reference to drawing 1 thru/or drawing 8. In explanation of a drawing, identical codes are given to the same element and the overlapping explanation is omitted to it. The rate of a proportion of a drawing is not necessarily in agreement with the thing of explanation.

[0025] The composition of the 1st example concerning the optical communication line of this invention is shown in drawing 1. In this optical communication line, relay amplifier  $30_2 - 30_N$ , variable optical attenuator  $70_1$ , and optical fiber amplifier  $50_{N+1}$  have connected to N stage transmission-optical-fiber  $40_1$  constructed between the transmitter 10 and the receiver 20 -  $40_N$ .

[0026] The transmitter 10 is the usual laser diode (LD), and generates an optical signal in transmitted wave length  $\lambda_S$  of wavelength the band of 1.5 micrometers. Variable optical attenuator  $70_1$  has the same composition as variable optical attenuator  $70_2$  mentioned later -  $70_N$ , decreases the optical signal from a light emitting device by magnitude-of-attenuation  $A_1$ , and outputs it to optical fiber  $40_1$  for transmission of the first rank.

[0027] Optical fiber  $40_1$  for transmission -  $40_N$  are usual silica glass optical fiber, respectively. It has the path loss which serves as the minimum with wavelength the band of 1.5 micrometers, amount of losses  $L_0 - L_N$  are given to the optical signal from relay amplifier  $30_M$  of the preceding paragraph, respectively, and it transmits to latter relay amplifier  $30_{M+1}$ . Relay amplifier  $30_2 - 30_N$  have the composition mentioned later. It has amplification peak wavelength  $\lambda_P$  which was in agreement with transmitted wave length  $\lambda_S$  of wavelength the band of 1.5 micrometers, the optical signal from optical fiber  $40_{M-1}$  for transmission of the preceding paragraph is amplified by amplification factor  $G_2 - G_N$ , and it outputs to latter optical fiber  $40_M$  for transmission.

[0028] Optical fiber amplifier  $50_{N+1}$  has the same composition as optical fiber amplifier  $50_2$  mentioned later -  $50_N$ , and amplifies and outputs the optical signal from optical fiber  $40_N$  for transmission of a last stage by amplification factor  $G_{N+1}$ . The receiver 20 is the usual photo-diode (PD), and detects the optical signal from optical fiber amplifier  $50_{N+1}$ .

[0029] The composition of relay amplifier  $30_2 - 30_N$  is shown in drawing 2. Variable optical attenuator  $70_M$  is connected to the outgoing end of optical fiber amplifier  $50_M$  in relay amplifier  $30_M$ . Optical fiber amplifier  $50_M$  amplifies the optical signal from optical fiber  $40_{M-1}$  for transmission of the preceding paragraph by larger amplification factor  $G'_M$  than amplification factor  $G_M$ , and outputs it to variable optical attenuator  $70_M$ . Variable optical attenuator  $70_M$  decreases the optical signal from optical fiber amplifier  $50_M$  by magnitude-of-attenuation  $A_M$ , and outputs it to latter optical fiber  $40_M$  for transmission by amplification factor  $G_M$  as relay amplifier  $30_M$  after all.

[0030] The composition of optical fiber amplifier  $50_2 - 50_N$  is shown in drawing 3. The course for amplification in which an optical signal results [ from the optical multiplexing machine 54 ] in the light branching machine 59 through the optical isolator 55, the optical fiber 57 for amplification, the optical isolator 56, and the optical filter 58 comprises optical fiber amplifier  $50_M$ . The branched route with the excitation light from the excitation light source 53 to [ branched route ] the optical multiplexing machine 54 and the branched route with a part of optical signal from the light branching machine 59 to [ branched route ] the photodetector 60 are constituted, respectively. Wiring which electrically connects between the photodetector 60, the control circuit 51, the driving source 52, and the excitation light sources 53 is given.

[0031] The excitation light source 53 is the usual LD, generates the excitation light with a wavelength of 1.48 micrometers which has the light intensity corresponding to the driving current from the driving source 52, and outputs this to the optical multiplexing machine 54. The optical multiplexing machine 54 is a 2 to 1 wavelength-multiplexing division fiber coupler of a melting roll, multiplexes and outputs

the excitation light from the optical signal and the excitation light source 53 from optical fiber 40<sub>M-1</sub> for transmission of the preceding paragraph to the optical isolator 55. The optical isolator 55 is a polarization-independent type optical isolator, and outputs the optical signal and excitation light from the optical multiplexing machine 54 only to other one way at the optical fiber 57 for amplification. [0032]The optical fiber 57 for amplification is Er addition silica glass optical fiber (EDF) which a little erbium (Er) ion added as an active substance to the core, By the stimulated emission of Er ion excited by the excitation light from the optical isolator 55, the optical signal from the optical isolator 55 is amplified, and it outputs to the optical isolator 56. The optical isolator 56 is a polarization-independent type optical isolator, and outputs the optical signal from the optical fiber 57 for amplification to the optical filter 58 only in other one way. The optical filter 58 is the usual band pass filter.

It has the transmission center wavelength which was in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal, and a noise component and an excitation light ingredient are removed from the optical signal from the optical isolator 56.

[0033]The light branching machine 59 is an one-pair dichotomy fiber coupler of a melting roll, branches to the photodetector 60 and variable optical attenuator 70<sub>M</sub> by branching ratio  $a: (1-a)$ , and outputs the optical signal from the optical filter 58. It is usual PD, and the photodetector 60 detects the optical signal from the light branching machine 59, and photoelectric conversion is carried out to the measurement signal corresponding to the light intensity, and it outputs it to it. The control circuit 51 outputs a control signal based on the measurement signal from the photodetector 60. The driving source 52 outputs the driving current which has a current value corresponding to the control signal from the control circuit 51.

[0034]The composition of variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - 70<sub>N</sub> is shown in drawing 4. The course for attenuation in which an optical signal results [ from the collimating lens 71 ] in the collimator 72 through the magnitude-of-attenuation variable region 73 comprises variable optical attenuator 70<sub>M</sub>. The collimating lens 71 outputs the optical signal emitted and inputted from optical fiber amplifier 50<sub>M</sub> as a parallel beam. In the magnitude-of-attenuation variable region 73, the rotating ND (Neutral Density) filters 74 and 75 of two sheets lean to the light flux of an optical signal, for example, it is arranged at Ha's shape, and the magnitude of attenuation changes with each angles of rotation continuously. By reflecting a part of optical signal from the collimating lens 71 outside with ND filters 74 and 75, this magnitude-of-attenuation variable region 73 decreases an optical signal, and outputs it to the collimating lens 72. The collimating lens 72 converges the optical signal inputted as a parallel beam from the magnitude-of-attenuation variable region 73, and outputs it to optical fiber 70<sub>M</sub> for transmission.

[0035]Transmitted wave length  $\lambda_s$  of the optical signal generated from the light emitting device of the transmitter 10 is set up so that optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission - amount of losses  $L_1$  in 40<sub>N</sub> -  $L_N$  may serve as the minimum value, respectively. So that optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission - amount of losses  $L_1$  in 40<sub>N</sub> -  $L_N$  may be compensated, respectively, Amplification factor  $G_2$  in relay amplifier 30<sub>2</sub> - 30<sub>N</sub>, and optical fiber amplifier 70<sub>N+1</sub> -  $G_{N+1}$  are set up, respectively.

[0036]So that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  in optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N+1</sub> may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal, respectively, In order to adjust the relay loss doubled with optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission - amount of losses  $L_1$  in 40<sub>N</sub> -  $L_N$ , variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - magnitude-of-attenuation  $A_1$  in 70<sub>N</sub> -  $A_N$  are set up, respectively. It corresponds to variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - magnitude-of-attenuation  $A_1$  in 70<sub>N-1</sub> -  $A_{N-1}$ , So that it may become respectively larger enough than the value which needs for realization of relay amplifier 30<sub>2</sub> - amplification factor  $G_2$  in 30<sub>N</sub> -  $G_N$  the power of the excitation light inputted into the optical fiber 57 for amplification of optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N</sub>, Amplification factor  $G'_2$  -  $G'_N$  in optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N</sub> is set up, respectively.

[0037] So that the fiber length of the optical fiber 57 for amplification in optical fiber amplifier  $50_2 - 50_{N+1}$  is long, As for the fiber length, since the margin of the relay loss which can be adjusted by magnitude-of-attenuation  $A_0$  in variable optical attenuator  $70_1 - 70_N - A_N$  is extended, it is desirable to set up in the range which does not degrade the noise characteristic of an optical signal as for a long time as possible.

[0038] Next, an operation of the 1st example of the above is explained.

[0039] In optical fiber amplifier  $50_M$  of relay amplifier  $30_M$ , the driving source 52 outputs the driving current which has a current value corresponding to the control signal from the control circuit 51, and outputs the excitation light in which the excitation light source 53 has the light intensity corresponding to the driving current from the driving source 52. The excitation light outputted from the excitation light source 53 is inputted into the optical fiber 57 for amplification via the optical multiplexing machine 54 and the optical isolator 55, and excites Er ion of the active substance added to the core. The excitation light outputted from the optical fiber 57 for amplification is inputted into an optical filter via the optical isolator 55, and is removed from the course for amplification by absorption or reflection.

[0040] In this state, the optical signal from optical fiber  $40_{M-1}$  for transmission of the preceding paragraph, It inputs into the optical fiber 57 for amplification via the optical multiplexing machine 54 and the optical isolator 55, and is amplified by the stimulated emission of Er ion excited with the core by amplification factor  $G'_M$  corresponding to the power of excitation light, respectively. The excitation light outputted from the optical fiber 57 for amplification is inputted into the optical filter 58 via the optical isolator 55, and noise light is removed. With the light branching machine 59, the optical signal outputted from the optical filter 58 branches to the photodetector 60 and variable optical attenuator  $70_M$  by branching ratio  $a$ :  $(1-a)$ , and is outputted. The measurement signal corresponding to [ detect an optical signal and ] the light intensity while the photodetector 60 branched with the light branching machine 59 is outputted. The control circuit 51 performs feedback control so that the light intensity of the excitation light which outputs a control signal based on the measurement signal from the photodetector 60, and is outputted from the excitation light source 53 may become fixed.

[0041] In variable optical attenuator  $70_M$  of relay amplifier  $30_M$ , the optical signal emitted and inputted turns into a parallel beam from optical fiber amplifier  $50_M$  with the collimating lens 71. A part is reflected outside with two ND filters 74 and 75 of the magnitude-of-attenuation variable region 73, and the optical signal from the collimating lens 71 is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_M$  corresponding to each angle of rotation. It converges with the collimating lens 72 and the optical signal outputted as a parallel beam from the magnitude-of-attenuation variable region 73 is outputted to latter optical fiber  $40_M$  for transmission.

[0042] In the optical communication line using such relay amplifier  $30_2 - 30_N$ . It generates with the transmitter 10, it decreases by magnitude-of-attenuation  $A_1$  by variable optical attenuator  $70_1$ , and is outputted, and the optical signal of transmitted wave length  $\lambda_s$  loses amount of losses  $L_1$  by optical fiber  $40_1$  for transmission, and is transmitted. The optical signal inputted into relay amplifier  $30_2$  is amplified by amplification factor  $G'_2$  by optical fiber amplifier  $50_2$ . Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_1$  corresponding to amount of losses  $L_1$ , the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber amplifier  $50_2$  may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component. Therefore, in the transmitted wave length field which an optical fiber amplifier amplifies, it discriminates from a signal component to noise, and amplification becomes possible.

[0043] This amplified optical signal is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_2$  by variable optical attenuator  $70_2$ , is outputted from relay amplifier  $30_2$ , is lost in amount of losses  $L_2$  by optical fiber  $40_2$  for transmission, and is transmitted. However, in relay amplifier  $30_2$ , after an optical signal is amplified by amplification factor  $G'_2$ , it is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_2$ , and it is

amplified by amplification factor  $G_2$  as a result. The optical signal inputted into relay amplifier 30<sub>3</sub> is amplified by amplification factor  $G'_3$  by optical fiber amplifier 50<sub>3</sub>. Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_2$  corresponding to amount of losses  $L_2$ , the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber amplifier 50<sub>3</sub> may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0044] This amplified optical signal is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_3$  by variable optical attenuator 70<sub>3</sub>, is outputted from relay amplifier 30<sub>3</sub>, is lost in a loss by optical fiber 40<sub>3</sub> for transmission at amount of losses  $L_3$ , and is transmitted. However, in relay amplifier 30<sub>3</sub>, after an optical signal is amplified by amplification factor  $G'_3$ , it is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_3$ , and it is amplified by amplification factor  $G_3$  as a result.

[0045] Hereafter, such relay amplification is performed in multistage. And the optical signal inputted into relay amplifier 30<sub>N</sub> is amplified by amplification factor  $G'_N$  by optical fiber amplifier 50<sub>N</sub>. Here by changing magnitude-of-attenuation  $A_{N-1}$  of variable optical attenuator 70<sub>N-1</sub> corresponding to amount of losses  $L_{N-1}$  of optical fiber 40<sub>N-1</sub> for transmission, The relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber amplifier 50<sub>N</sub> may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0046] This amplified optical signal is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_N$  by variable optical attenuator 70<sub>N</sub>, is outputted from relay amplifier 30<sub>N</sub>, is lost in amount of losses  $L_N$  by optical fiber 40<sub>N</sub> for transmission, and is transmitted. However, in relay amplifier 30<sub>N</sub>, after an optical signal is amplified by amplification factor  $G'_N$ , it is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_N$ , and it is amplified by amplification factor  $G_N$  as a result. The optical signal inputted into optical fiber amplifier 50<sub>N+1</sub> is amplified by amplification factor  $G_{N+1}$ . Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_N$  corresponding to amount of losses  $L_N$ , the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber amplifier 50<sub>N+1</sub> may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component. This amplified optical signal is inputted into the receiver 20, and is detected. Therefore, transmission of a lightwave signal is attained in the transmitted wave length field which an optical fiber amplifier amplifies.

[0047] The relation of the relay loss and amplification peak wavelength in optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N+1</sub> is shown in drawing 5 and drawing 6. In such an optical fiber communications system, transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal to 1560 micrometers. Optical fiber 40<sub>1</sub> for transmission - amount of losses  $L_1$  of 40<sub>N</sub> -  $L_N$ , respectively 10 dB, When variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - magnitude-of-attenuation  $A_1$  of 70<sub>N</sub> -  $A_N$  are set as 0 dB, respectively, in drawing 5 and drawing 6, amplification peak wavelength  $\lambda_p$  is in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$ .

[0048] Here, if transmitted wave length  $\lambda_s$  is changed into 1558 micrometers, amplification peak wavelength  $\lambda_p$  continues being 1560 micrometers, and the transmission characteristic of an optical signal will deteriorate. Then, by setting variable optical attenuator 70<sub>1</sub> - magnitude-of-attenuation  $A_1$  of 70<sub>N</sub> -  $A_N$  as 5 dB, respectively, Since amplification peak wavelength  $\lambda_p$  can make it in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  according to drawing 5 and drawing 6, an optical signal has a good noise characteristic and is amplified.

[0049] Therefore, since amplification peak wavelength  $\lambda_p$  of optical fiber amplifier 50<sub>2</sub> - 50<sub>N+1</sub>

can be adjusted corresponding to this even if transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal is changed, the transmission characteristic of an optical signal is held good. That is, transmission of a lightwave signal is attained in the transmitted wave length field which an optical fiber amplifies.

[0050]The composition of the 2nd example concerning the optical communication line of this invention is shown in drawing 7. In this optical communication line, relay amplifier  $30_1 - 30_N$  have connected to N stage transmission-optical-fiber  $40_1$  constructed between the transmitter 10 and the receiver  $20 - 40_N$ . Here, except for relay amplifier  $30_1 - 30_N$ , the inside of the transmitter 10, optical fiber  $40_1$  for transmission -  $40_N$ , and the receiver 20 is constituted like the 1st example of the above.

[0051]The composition of relay amplifier  $30_1 - 30_N$  is shown in drawing 8. Optical fiber amplifier  $50_M$  is connected to the outgoing end of variable optical attenuator  $70_M$  in relay amplifier  $30_M$ . Variable optical attenuator  $70_M$  decreases the optical signal from optical fiber  $40_M$  for transmission of the preceding paragraph by magnitude-of-attenuation  $A_M$ , and outputs it to optical fiber amplifier  $50_M$ . Optical fiber amplifier  $50_M$  amplifies the optical signal from variable optical attenuator  $70_M$  by amplification factor  $G_M$ , and outputs it to latter optical fiber  $40_{M+1}$  for transmission. Here, the inside of variable optical attenuator  $70_1 - 70_N$  and optical fiber amplifier  $50_1 - 50_N$  is constituted like the 1st example of the above.

[0052]So that amplification peak wavelength  $\lambda_p$  in optical fiber amplifier  $50_1 - 50_N$  may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_s$  of an optical signal, respectively. In order to adjust the relay loss doubled with optical fiber  $40_1$  for transmission - amount of losses  $L_1$  in  $40_N - L_N$ , variable optical attenuator  $70_1$  - magnitude-of-attenuation  $A_1$  in  $70_N - A_N$  are set up, respectively.

[0053]Next, an operation of the 2nd example of the above is explained.

[0054]In variable optical attenuator  $70_M$  of relay amplifier  $30_M$ , the optical signal emitted and inputted turns into a parallel beam from optical fiber  $40_M$  for transmission of the preceding paragraph with the collimating lens 71. A part is reflected outside with two ND filters 74 and 75 of the magnitude-of-attenuation variable region 73, and the optical signal from the collimating lens 71 is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_M$  corresponding to each angle of rotation. It converges with the collimating lens 72 and the optical signal outputted as a parallel beam from the magnitude-of-attenuation variable region 73 is outputted to optical fiber amplifier  $50_M$ .

[0055]In optical fiber amplifier  $50_M$  of relay amplifier  $30_M$ , the driving source 52 outputs the driving current which has a current value corresponding to the control signal from the control circuit 51, and outputs the excitation light in which the excitation light source 53 has the light intensity corresponding to the driving current from the driving source 52. The excitation light outputted from the excitation light source 53 is inputted into the optical fiber 57 for amplification via the optical multiplexing machine 54 and the optical isolator 55, and excites Er ion of the active substance added to the core. The excitation light outputted from the optical fiber 57 for amplification is inputted into an optical filter via the optical isolator 55, and is removed from the course for amplification by absorption or reflection.

[0056]this -- a state -- a variable optical attenuator --  $70_M$  -- from -- an optical signal -- optical multiplexing -- a vessel -- 54 -- an optical isolator -- 55 -- passing -- amplification -- \*\* -- an optical fiber -- 57 -- inputting -- the -- a core -- having excited -- Er -- ion -- a stimulated emission -- excitation light -- power -- having corresponded -- an amplification factor --  $G_M$  -- respectively -- amplifying -- having . The excitation light outputted from the optical fiber 57 for amplification is inputted into the optical filter 58 via the optical isolator 55, and noise light is removed. With the light branching machine 59, the optical signal outputted from the optical filter 58 branches by branching ratio a: (1-a) to optical fiber  $40_{M+1}$  for transmission of the photodetector 60 and the latter part, and is outputted. The measurement signal corresponding to [ detect an optical signal and ] the light intensity while the photodetector 60 branched with the light branching machine 59 is outputted.



The control circuit 51 performs feedback control so that the light intensity of the excitation light which outputs a control signal based on the measurement signal from the photodetector 60, and is outputted from the excitation light source 53 may become fixed.

[0057] In the optical communication line using such relay amplifier  $30_1 - 30_N$ , it generates with the transmitter 10, and the optical signal of transmitted wave length  $\lambda_S$  loses in amount of losses  $L_1$  by optical fiber  $40_1$  for transmission, and is transmitted. The optical signal inputted into relay amplifier  $30_1$  is decreased by magnitude-of-attenuation  $A_1$  by variable optical attenuator  $70_1$ , and, in the back, is amplified by amplification factor  $G_1$  by optical fiber amplifier  $50_1$ . Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_1$  corresponding to amount of losses  $L_1$ , the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_P$  of optical fiber amplifier  $50_1$  may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_S$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0058] The optical signal outputted by amplifying from relay amplifier  $30_1$  is lost in amount of losses  $L_2$  by optical fiber  $40_2$  for transmission, and is transmitted. After decreasing the optical signal inputted into relay amplifier  $30_2$  by magnitude-of-attenuation  $A_2$  by variable optical attenuator  $70_2$ , it is amplified by amplification factor  $G_2$  by optical fiber amplifier  $50_2$ . Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_2$  corresponding to amount of losses  $L_2$ , the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_P$  of optical fiber amplifier  $50_2$  may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_S$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component. Therefore, in the transmitted wave length field which an optical fiber amplifier amplifies, it discriminates from a signal component to noise, and amplification becomes possible.

[0059] Hereafter, such relay amplification is performed in multistage. And after decreasing the optical signal inputted into relay amplifier  $30_N$  by magnitude-of-attenuation  $A_N$  by variable optical attenuator  $70_N$ , it is amplified by amplification factor  $G_N$  by optical fiber amplifier  $50_N$ . Here, by changing magnitude-of-attenuation  $A_N$  corresponding to amount of losses  $L_N$  of optical fiber  $40_N$  for transmission, the relay loss is adjusted so that amplification peak wavelength  $\lambda_P$  of optical fiber amplifier  $50_N$  may be in agreement with transmitted wave length  $\lambda_S$  of an optical signal. Therefore, an optical signal is amplified so that a signal component can discriminate enough to a noise component.

[0060] Therefore, since amplification peak wavelength  $\lambda_P$  of optical fiber amplifier  $50_1 - 50_N$  can be adjusted corresponding to this even if transmitted wave length  $\lambda_S$  of an optical signal is changed, the transmission characteristic of an optical signal is held good. That is, transmission of a lightwave signal is attained in the transmitted wave length field which an optical fiber amplifies.

[0061] This invention is not restricted to many above-mentioned examples, and various modification is possible for it.

[0062] For example, although Er added optical fiber is used as an optical fiber for amplification of an optical fiber amplifier in many above-mentioned examples, This is replaced by usual silica glass optical fiber, and even if it uses an optical fiber amplifier as a Raman amplifier by using Nd:YAG laser etc. as the excitation light source, the same operation effect is obtained.

[0063] In many above-mentioned examples, although the ND filter is used as a magnitude-of-attenuation variable means of a variable optical attenuator, optical density should just use a neutral, i.e., the thing which does not almost have wavelength dependency in the magnitude of attenuation.

[0064] In many above-mentioned examples, although the optical fiber is used as an optical transmission line between two relay amplifiers, it may be replaced by transmission and the space propagation by an optical waveguide etc.

[0065]

[Effect of the Invention] As mentioned above, according to this invention, the magnitude of attenuation of the optical signal in a relay amplifier adjusts the relay loss of an optical signal together

with the amount of losses of the optical signal in the optical transmission line of the preceding paragraph or the latter part, and it is set up to have explained in detail so that the amplification peak wavelength of a relay amplifier may be in agreement with the transmitted wave length of an optical signal. Therefore, by performing such relay amplification in multistage, an optical signal has a good noise characteristic and is amplified.

[0066] Since an optical signal is amplified by a good noise characteristic with a relay amplifier when the magnitude of attenuation of the optical signal in a relay amplifier is variable even if the transmitted wave length of an optical signal is changed, the transmission characteristic of an optical signal is held good.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is a lineblock diagram showing the 1st example concerning the optical communication line of this invention.

[Drawing 2] It is a lineblock diagram showing the relay amplifier in the optical communication line shown in drawing 1.

[Drawing 3] It is a lineblock diagram showing the optical fiber amplifier in the relay amplifier shown in drawing 2.

[Drawing 4] It is a lineblock diagram showing the variable optical attenuator in the relay amplifier shown in drawing 2.

[Drawing 5] It is a plot showing the relation of a relay loss and amplification peak wavelength in case the material composition of the optical fiber for amplification in a relay amplifier differs.

[Drawing 6] It is a plot showing the relation of a relay loss and amplification peak wavelength in case the fiber length of the optical fiber for amplification in a relay amplifier differs.

[Drawing 7] It is a lineblock diagram showing the 2nd example concerning the optical communication line of this invention.

[Drawing 8] It is a lineblock diagram showing the relay amplifier in the optical communication line shown in drawing 7.

[Description of Notations]

10 -- A transmitter, 20 -- A receiver,  $30_1 - 30_N$  -- Relay amplifier,  $40_1 - 40_N$  -- The optical fiber for transmission,  $50_1 - 50_N$  -- Optical fiber amplifier, 51 [ -- Optical multiplexing machine, ] -- A control circuit, 52 -- A driving source, 53 -- The excitation light source, 54 55, 56 [ -- A light branching machine, 60 / -- A photodetector,  $70_1 - 70_N$  / -- A variable optical attenuator, 71, 72 / -- A collimating lens, 73 / -- A magnitude-of-attenuation variable region, 74, 75 / -- ND filter. ] -- An optical isolator, 57 -- The optical fiber for amplification, 58 -- An optical filter, 59  
Representative patent attorney Yoshiki Hasegawa

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-154338

(43) 公開日 平成7年(1995)6月16日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 4 B 10/17

10/16

G 0 2 F 1/35

9316-2K

9372-5K

9372-5K

H 0 4 B 9/ 00

J

M

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平5-274492

(22) 出願日

平成5年(1993)11月2日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 中里 浩二

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 西村 正幸

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

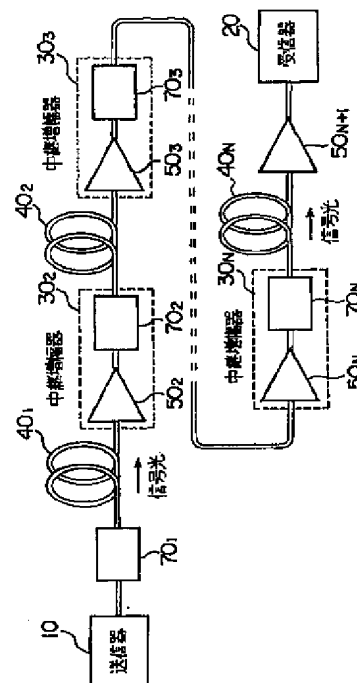
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光通信路

(57) 【要約】

【目的】 光伝送路を敷設して光通信システムが稼働した後、変更された信号光の伝送波長に中継増幅器の増幅ピーク波長が一致するように調整することが可能であり、その伝送特性が良好に保持される光通信路を提供する。

【構成】 この光通信路では、送信器10と受信器20との間に敷設した伝送光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>s</sub>を、中継増幅器30<sub>2</sub>～30<sub>s</sub>がN段に接続している。中継増幅器30<sub>x</sub>では、光ファイバ増幅器50<sub>x</sub>の出力端に可変光減衰器70<sub>x</sub>が接続されている。この可変光減衰器70<sub>x</sub>における信号光の減衰量が、後段の伝送光ファイバ40<sub>y</sub>における信号光の損失量と合わせて信号光の中継損失を調整し、後段の中継増幅器30<sub>y+1</sub>の増幅ピーク波長が信号光の伝送波長に一致するように設定されている。そのため、後段の中継増幅器30<sub>y+1</sub>で信号光は雑音成分に対して信号成分が十分弁別できる状態に増幅される。このような中継増幅が多段に実行されることにより、信号光は良好な雑音特性を有して増幅される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 中継増幅器を介して複数の光伝送路を多段接続した光通信路において、前記中継増幅器は、前段の前記光伝送路から入力した信号光を増幅する光ファイバ増幅器と、減衰量を調整する減衰量可変手段を有し、前記光ファイバ増幅器から入力した前記信号光を減衰して後段の前記光伝送路に出力する可変光減衰器とを備え、この可変減衰器の減衰量は、後段の前記中継増幅器の増幅ピーク波長が伝送すべき信号光波長と一致する値に調整されていることを特徴とする光通信路。

【請求項 2】 中継増幅器を介して複数の光伝送路を多段接続した光通信路において、前記中継増幅器は、減衰量を調整する減衰量可変手段を有し、前段の前記光伝送路から入力した信号光を減衰する可変光減衰器と、この可変光減衰器から入力した前記信号光を増幅する光ファイバ増幅器とを備え、前記可変減衰器の減衰量は、前記光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長が伝送すべき信号光波長と一致する値に調整されていることを特徴とする光通信路。

【請求項 3】 前記減衰量可変手段は、前記信号光に対する傾斜角度により前記減衰量を調整する光フィルタを有することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の光通信路。

【請求項 4】 前記光ファイバ増幅器は、活性物質として添加した  $E_r$  の誘導放出により前記信号光を増幅する光ファイバを有することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の光通信路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信システムにおいて、中継増幅器を介して複数の光伝送路を多段に接続した光通信路に関し、より詳細には、中継増幅器の増幅ピーク波長が信号光の伝送波長に一致するように調整され、良好な伝送特性を有する光通信路に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、光通信システムの長距離伝送に伴い、光ファイバ等の光伝送路における光損失を補償するために、中継増幅器の役割が重要性を増している。この中継増幅器としては、コアに希土類元素を活性物質として添加した増幅用光ファイバを有する光ファイバ増幅器が多く用いられている。そして、光ファイバ増幅器の後段に光減衰器を敷設する構成が周知である。

【0003】 このような中継増幅器は、光ファイバ増幅器で所定の増幅率よりも大きい増幅率で信号光を増幅し、光減衰器で信号光を減衰して所定の増幅率で出力する。これにより、光ファイバ増幅器の増幅率が比較的大きい値に維持される、すなわち、増幅用光ファイバ中の

活性物質を励起する励起光のパワーが比較的高い値に保持されるので、活性物質における反転分布の低下を防止する。そのため、増幅用光ファイバの雑音指数が、信号光の出力パワーに対して比較的低い値で安定する。

【0004】 なお、このような先行技術に関しては、文献”Societe des Electriciens et des Electroniens(SEE), 2nd International Conference on Optical Fiber Submarine Telecommunication Systems, S14 Poster Session <1>, pp. 168-169, 1993”, “United States Patent, No. 5187610”などに詳細に記載されている。

【0005】 そして、この中継増幅器では、信号光が増幅される際、信号光の伝送波長で光強度のピークを有する信号成分に、比較的広い波長幅に分布した雑音成分が付加される。ここで、伝送波長が中継増幅器の増幅ピーク波長にはば一致した値を有するとき、信号成分が雑音成分よりも大きい増幅率で増幅されているので、信号成分と雑音成分を弁別することが容易である。一方、伝送波長が増幅ピーク波長より大きく隔たった値を有するとき、増幅ピーク波長の雑音成分が信号成分よりも大きい増幅率で増幅されているので、信号成分が雑音成分に埋もれてしまい、二つの成分を弁別することが困難である。

【0006】 したがって、このような中継増幅器を介して複数の光伝送路を多段に接続し、信号光を増幅中継する光通信路では、決定された信号光の伝送波長に対し、中継増幅器の増幅ピーク波長が一致するように設定されている。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 一般に、中継増幅器の増幅ピーク波長は、前段の中継増幅器との中継間隔、すなわち信号光の中継損失に対応して決定されているという関係が周知である。

【0008】 図 5 に、中継増幅器における増幅用光ファイバの材料組成が異なる場合の、中継損失と増幅ピーク波長との関係を示す。コアに共添加した  $A_1$  濃度がそれぞれ 3 wt %、0.4 wt %、0.05 wt % 及び 0 wt % である 4 種類の増幅用光ファイバにおいて、中継損失が増大するにつれて増幅ピーク波長が低減している。図 6 に、中継増幅器における増幅用光ファイバのファイバ長が異なる場合の、中継損失と増幅ピーク波長との関係を示す。ファイバ長がそれぞれ 2.5 m、1.8 m 及び 1.5 m である 3 種類の増幅用光ファイバにおいて、中継損失が増大するにつれて増幅ピーク波長が低減している。したがって、増幅用光ファイバの材料組成やファイバ長を変化させることにより、中継損失に対する増幅ピーク波長を調整することが可能である。

【0009】 なお、このような知見に関しては、文献”IEEE/LEOS OSA, Optical Amplifiers and their Applications, Technical Digest S. vol. 13, pp. 82-85, 1991”などに詳細に記載されている。

【0010】しかしながら、増幅用光ファイバのファイバ長が過大に長くなると、雑音指数が増大するなどの雑音特性の劣化が起こる。また、増幅用光ファイバの材料組成やファイバ長を変更すると、信号光の零分散波長が変化して伝送波長と一致しなくなることもある。そのため、光伝送路を光ファイバ等で敷設した後、信号光の伝送波長を変更したい場合に、中継増幅器の増幅ピーク波長がその伝送波長に一致するように調整することが困難である。したがって、上記従来の光通信路では、信号光の伝送波長を変更した場合、その伝送特性が劣化してしまうという問題が生じる。

【0011】そこで、本発明は、上記の問題点を解決し、光伝送路を敷設して光通信システムが稼働した後、変更された信号光の伝送波長に中継増幅器の増幅ピーク波長が一致するように調整することが可能であり、その伝送特性が良好に保持される光通信路を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の目的を達成するために、中継増幅器を介して複数の光伝送路を多段接続した光通信路において、中継増幅器は、前段の前記光伝送路から入力した信号光を増幅する光ファイバ増幅器と、減衰量を調整する減衰量可変手段を有し、光ファイバ増幅器から入力した信号光を減衰して後段の光伝送路に出力する可変光減衰器とを備え、この可変減衰器の減衰量は、後段の中継増幅器の増幅ピーク波長が伝送すべき信号光波長と一致する値に調整されていることを特徴とする。

【0013】また、本発明は、上記の目的を達成するために、中継増幅器を介して複数の光伝送路を多段接続した光通信路において、中継増幅器は、減衰量を調整する減衰量可変手段を有し、前段の光伝送路から入力した信号光を減衰する可変光減衰器と、この可変光減衰器から入力した信号光を増幅する光ファイバ増幅器とを備え、可変減衰器の減衰量は、光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長が伝送すべき信号光波長と一致する値に調整されていることを特徴とする。

【0014】なお、上記減衰量可変手段は、信号光に対する傾斜角度により減衰量を調整する光フィルタを有することを特徴としてもよい。

【0015】また、上記光ファイバ増幅器は、活性物質として添加したErの誘導放出により信号光を増幅する光ファイバを有することを特徴としてもよい。

【0016】

【作用】本発明の第1態様によれば、前段の光伝送路から中継増幅器に入力した信号光は、光ファイバ増幅器で増幅された後に、可変光減衰器であらかじめ設定された所定の減衰を受けて出力され、後段の光伝送路を介して後段の中継増幅器に入力する。一般に、前段の光伝送路における信号光の中継損失に対応し、中継増幅器の増幅

ピーク波長が決定されるという関係がある。

【0017】本発明では、可変光減衰器の減衰量は、後段の光伝送路における信号光の損失量と合わせて信号光の中継損失を調整し、後段の中継増幅器の増幅ピーク波長が信号光の伝送波長に一致するように設定されている。そのため、後段の中継増幅器で信号光は雑音成分に対して信号成分が十分弁別できる状態に増幅される。

【0018】したがって、このような中継増幅が多段に実行されることにより、信号光は良好な雑音特性を有して増幅される。なお、中継増幅器における信号光の減衰量が可変であることにより、信号光の伝送波長が変更されても、これに対応して後段の中継増幅器の増幅ピーク波長を調整することができるので、信号光の伝送特性は良好に保持される。

【0019】また、本発明の第2態様によれば、前段の光伝送路から中継増幅器に入力した信号光は、可変光減衰器であらかじめ設定された所定の減衰を受けた後、光ファイバ増幅器で増幅されて後段の光伝送路に出力される。この可変光減衰器の減衰量は、前段の光伝送路における信号光の損失量と合わせて信号光の中継損失を調整し、光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長が信号光の伝送波長に一致するように設定されている。

【0020】したがって、上記第1態様とほぼ同様にして、信号光は良好な雑音特性を有して増幅される。なお、中継増幅器における信号光の減衰量が可変であることにより、信号光の伝送波長が変更されても、これに対応して光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長を調整することができるので、信号光の伝送特性は良好に保持される。

【0021】

【実施例】以下、本発明に係る実施例の構成及び作用について、図1ないし図8を参照して説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0022】図1に、本発明の光通信路に係る第1実施例の構成を示す。この光通信路では、送信器10と受信器20との間に敷設した伝送光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>s</sub>を、中継増幅器30<sub>2</sub>～30<sub>s</sub>、可変光減衰器70<sub>1</sub>及び光ファイバ増幅器50<sub>s+1</sub>がN段に接続している。

【0023】送信器10は通常のレーザダイオード(LD)であり、波長1.5μm帯の伝送波長λ<sub>s</sub>で信号光を発生する。可変光減衰器70<sub>1</sub>は後述する可変光減衰器70<sub>2</sub>～70<sub>s</sub>と同一の構成を有し、発光素子からの信号光を減衰量A<sub>1</sub>で減衰して初段の伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>に出力する。

【0024】伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>s</sub>はそれぞれ通常の石英系光ファイバであり、波長1.5μm帯で最低となる伝送損失を有し、前段の中継増幅器30<sub>s</sub>からの信号光に損失量L<sub>0</sub>～L<sub>s</sub>をそれぞれ与え、後段の

中継増幅器 30<sub>n</sub> に伝送する。中継増幅器 30<sub>2</sub> ~ 30<sub>n</sub> は後述する構成を有し、波長 1.5 μm 帯の伝送波長 λ<sub>s</sub> に一致した増幅ピーク波長 λ<sub>p</sub> を有し、前段の伝送用光ファイバ 40<sub>n-1</sub> からの信号光を増幅率 G<sub>2</sub> ~ G<sub>n</sub> で増幅して後段の伝送用光ファイバ 40<sub>n</sub> に出力する。

【0025】光ファイバ増幅器 50<sub>n-1</sub> は後述する光ファイバ増幅器 50<sub>2</sub> ~ 50<sub>n</sub> と同一の構成を有し、最後段の伝送用光ファイバ 40<sub>n</sub> からの信号光を増幅率 G<sub>n-1</sub> で増幅して出力する。受信器 20 は通常のフォトダイオード (PD) であり、光ファイバ増幅器 50<sub>n-1</sub> からの信号光を検出する。

【0026】図 2 に、中継増幅器 30<sub>2</sub> ~ 30<sub>n</sub> の構成を示す。中継増幅器 30<sub>n</sub> では、光ファイバ増幅器 50<sub>n</sub> の出力端に可変光減衰器 70<sub>n</sub> が接続されている。光ファイバ増幅器 50<sub>n</sub> は、前段の伝送用光ファイバ 40<sub>n-1</sub> からの信号光を増幅率 G<sub>n</sub> よりも大きい増幅率 G<sub>n</sub>' で増幅し、可変光減衰器 70<sub>n</sub> に出力する。可変光減衰器 70<sub>n</sub> は、光ファイバ増幅器 50<sub>n</sub> からの信号光を減衰量 A<sub>n</sub> で減衰し、結局中継増幅器 30<sub>n</sub> としては増幅率 G<sub>n</sub> で後段の伝送用光ファイバ 40<sub>n</sub> に出力する。

【0027】図 3 に、光ファイバ増幅器 50<sub>2</sub> ~ 50<sub>n</sub> の構成を示す。光ファイバ増幅器 50<sub>n</sub> では、信号光が光合波器 54 から光アイソレータ 55、増幅用光ファイバ 57、光アイソレータ 56 及び光フィルタ 58 を経て光分岐器 59 に至る増幅用経路が構成されている。また、励起光が励起光源 53 から光合波器 54 に至る分岐経路と、信号光の一部が光分岐器 59 から光検出器 60 に至る分岐経路がそれぞれ構成されている。さらに、光検出器 60、制御回路 51、駆動電源 52 及び励起光源 53 の間を電気的に接続する配線が施されている。

【0028】励起光源 53 は通常の LD であり、駆動電源 52 からの駆動電流に対応した光強度を有する波長 1.48 μm の励起光を発生し、これを光合波器 54 に出力する。光合波器 54 は溶融延伸型の 2 対 1 波長多重分割ファイバカプラであり、前段の伝送用光ファイバ 40<sub>n-1</sub> からの信号光と励起光源 53 からの励起光を合波して光アイソレータ 55 に出力する。光アイソレータ 55 は偏波無依存型光アイソレータであり、光合波器 54 からの信号光と励起光を増幅用光ファイバ 57 に向う一方方向のみに出力する。

【0029】増幅用光ファイバ 57 はそのコアに微量のエルビウム (Er) イオンが活性物質として添加した Er 添加石英系光ファイバ (EDF) であり、光アイソレータ 55 からの励起光で励起した Er イオンの誘導放出によって光アイソレータ 55 からの信号光を増幅し、光アイソレータ 56 に出力する。光アイソレータ 56 は偏波無依存型光アイソレータであり、増幅用光ファイバ 57 からの信号光を光フィルタ 58 に向う一方方向のみに出力する。光フィルタ 58 は、通常のバンドパスフィルタ

であり、信号光の伝送波長 λ<sub>s</sub> と一致した透過中心波長を有し、光アイソレータ 56 からの信号光から雑音成分と励起光成分を除去する。

【0030】光分岐器 59 は溶融延伸型の 1 対 2 分岐ファイバカプラであり、光フィルタ 58 からの信号光を分岐比 a : (1-a) で光検出器 60 と可変光減衰器 70<sub>n</sub> に分岐して出力する。光検出器 60 は通常の PD であり、光分岐器 59 からの信号光を検出し、その光強度に対応した測定信号に光電変換して出力する。制御回路 51 は、光検出器 60 からの測定信号に基づいて制御信号を出力する。駆動電源 52 は、制御回路 51 からの制御信号に対応した電流値を有する駆動電流を出力する。

【0031】図 4 に、可変光減衰器 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> の構成を示す。可変光減衰器 70<sub>n</sub> では、信号光がコリメータレンズ 71 から減衰量可変部 73 を経てコリメータ 72 に至る減衰用経路が構成されている。コリメータレンズ 71 は、光ファイバ増幅器 50<sub>n</sub> から発散して入力した信号光を平行光として出力する。減衰量可変部 73 では、回転する 2 枚の ND (Neutral Density) フィルタ 74, 75 が信号光の光束に対して傾けて、例えばハの字型に配置されており、各回転角により減衰量が連続的に変化する。この減衰量可変部 73 は、コリメータレンズ 71 からの信号光の一部を ND フィルタ 74, 75 で外部に反射することにより、信号光を減衰してコリメータレンズ 72 に出力する。コリメータレンズ 72 は、減衰量可変部 73 から平行光として入力した信号光を収束し、伝送用光ファイバ 70<sub>n</sub> に出力する。

【0032】なお、伝送用光ファイバ 40<sub>1</sub> ~ 40<sub>n</sub> における損失量 L<sub>1</sub> ~ L<sub>n</sub> がそれぞれ最低値となるように、送信器 10 の発光素子から発生する信号光の伝送波長 λ<sub>s</sub> が設定されている。また、伝送用光ファイバ 40<sub>1</sub> ~ 40<sub>n</sub> における損失量 L<sub>1</sub> ~ L<sub>n</sub> がそれぞれ補償されるように、中継増幅器 30<sub>2</sub> ~ 30<sub>n</sub> 及び光ファイバ増幅器 70<sub>n-1</sub> における増幅率 G<sub>2</sub> ~ G<sub>n-1</sub> がそれぞれ設定されている。

【0033】また、光ファイバ増幅器 50<sub>2</sub> ~ 50<sub>n-1</sub> における増幅ピーク波長 λ<sub>p</sub> が信号光の伝送波長 λ<sub>s</sub> にそれぞれ一致するように、伝送用光ファイバ 40<sub>1</sub> ~ 40<sub>n</sub> における損失量 L<sub>1</sub> ~ L<sub>n</sub> と合わせた中継損失を調節するために、可変光減衰器 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> における減衰量 A<sub>1</sub> ~ A<sub>n</sub> がそれぞれ設定されている。また、可変光減衰器 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n-1</sub> における減衰量 A<sub>1</sub> ~ A<sub>n-1</sub> に対応し、光ファイバ増幅器 50<sub>2</sub> ~ 50<sub>n</sub> の増幅用光ファイバ 57 に入力される励起光のパワーが中継増幅器 30<sub>2</sub> ~ 30<sub>n</sub> における増幅率 G<sub>2</sub> ~ G<sub>n</sub> の実現に必要な値よりもそれぞれ十分大きくなるように、光ファイバ増幅器 50<sub>2</sub> ~ 50<sub>n</sub> における増幅率 G<sub>2</sub>' ~ G<sub>n</sub>' がそれぞれ設定されている。

【0034】さらに、光ファイバ増幅器 50<sub>2</sub> ~ 50<sub>n-1</sub> における増幅用光ファイバ 57 のファイバ長が長い

ほど、可変光減衰器70<sub>1</sub>～70<sub>N</sub>における減衰量A<sub>0</sub>～A<sub>N</sub>により調節できる中継損失のマージンが拡張されるので、そのファイバ長は信号光の雑音特性を劣化させない範囲でできるだけ長く設定することが望ましい。

【0035】次に、上記第1実施例の作用について説明する。

【0036】中継増幅器30<sub>M</sub>の光ファイバ増幅器50<sub>M</sub>では、駆動電源52が制御回路51からの制御信号に対応した電流値を有する駆動電流を出力し、励起光源53が駆動電源52からの駆動電流に対応した光強度を有する励起光を出力する。励起光源53から出力した励起光は、光合波器54、光アイソレータ55を介して増幅用光ファイバ57に入力し、そのコアに添加した活性物質のErイオンを励起する。増幅用光ファイバ57から出力した励起光は、光アイソレータ55を介して光フィルタに入力し、吸収または反射によって増幅用経路から除去される。

【0037】この状態で、前段の伝送用光ファイバ40<sub>M-1</sub>からの信号光は、光合波器54、光アイソレータ55を介して増幅用光ファイバ57に入力し、そのコアで励起したErイオンの誘導放出により、励起光のパワーに対応した増幅率G<sub>1</sub>でそれぞれ増幅される。増幅用光ファイバ57から出力した励起光は、光アイソレータ55を介して光フィルタ58に入力して雑音光が除去される。光フィルタ58から出力した信号光は、光分岐器59で分岐比a:(1-a)で光検出器60と可変光減衰器70<sub>M</sub>に分岐して出力される。光検出器60が光分岐器59で分岐した一方の信号光を検出し、その光強度に対応した測定信号を出力する。制御回路51は、光検出器60からの測定信号に基づいて制御信号を出力し、励起光源53から出力する励起光の光強度が一定になるように帰還制御を実行する。

【0038】中継増幅器30<sub>M</sub>の可変光減衰器70<sub>M</sub>では、光ファイバ増幅器50<sub>M</sub>から発散して入力した信号光がコリメータレンズ71で平行光となる。コリメータレンズ71からの信号光は、減衰量可変部73の二つのNDフィルタ74、75で一部が外部に反射され、それぞれの回転角に対応した減衰量A<sub>M</sub>で減衰される。減衰量可変部73から平行光として出力した信号光は、コリメータレンズ72で収束されて後段の伝送用光ファイバ40<sub>M</sub>に出力される。

【0039】このような中継増幅器30<sub>2</sub>～30<sub>N</sub>を利用した光通信路では、伝送波長λ<sub>s</sub>の信号光が送信器10で発生し、可変光減衰器70<sub>1</sub>により減衰量A<sub>1</sub>で減衰して出力され、伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>により損失量L<sub>1</sub>を損失して伝送される。中継増幅器30<sub>2</sub>に入力した信号光は、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>で増幅率G<sub>2</sub>で増幅される。ここで、損失量L<sub>1</sub>に対応して減衰量A<sub>1</sub>を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>の増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>に一致するよ

うに、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。

【0040】この増幅された信号光は、可変光減衰器70<sub>2</sub>により減衰量A<sub>2</sub>で減衰して中継増幅器30<sub>2</sub>から出力され、伝送用光ファイバ40<sub>2</sub>により損失量L<sub>2</sub>で損失して伝送される。ただし、中継増幅器30<sub>2</sub>では、信号光は増幅率G<sub>2</sub>で増幅された後に減衰量A<sub>2</sub>で減衰され、結果として増幅率G<sub>2</sub>で増幅される。中継増幅器30<sub>3</sub>に入力した信号光は、光ファイバ増幅器50<sub>3</sub>で増幅率G<sub>3</sub>で増幅される。ここで、損失量L<sub>2</sub>に対応して減衰量A<sub>2</sub>を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>3</sub>の増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。

【0041】この増幅された信号光は、可変光減衰器70<sub>3</sub>により減衰量A<sub>3</sub>で減衰して中継増幅器30<sub>3</sub>から出力され、伝送用光ファイバ40<sub>3</sub>により損失量L<sub>3</sub>で損失して伝送される。ただし、中継増幅器30<sub>3</sub>では、信号光は増幅率G<sub>3</sub>で増幅された後に減衰量A<sub>3</sub>で減衰され、結果として増幅率G<sub>3</sub>で増幅される。

【0042】以下、このような中継増幅が、多段に実行される。そして、中継増幅器30<sub>N</sub>に入力した信号光は、光ファイバ増幅器50<sub>N</sub>で増幅率G<sub>N</sub>で増幅される。ここで、伝送用光ファイバ40<sub>N-1</sub>の損失量L<sub>N-1</sub>に対応して可変光減衰器70<sub>N-1</sub>の減衰量A<sub>N-1</sub>を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>N</sub>の増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。

【0043】この増幅された信号光は、可変光減衰器70<sub>N</sub>により減衰量A<sub>N</sub>で減衰して中継増幅器30<sub>N</sub>から出力され、伝送用光ファイバ40<sub>N</sub>により損失量L<sub>N</sub>で損失して伝送される。ただし、中継増幅器30<sub>N</sub>では、信号光は増幅率G<sub>N</sub>で増幅された後に減衰量A<sub>N</sub>で減衰され、結果として増幅率G<sub>N</sub>で増幅される。光ファイバ増幅器50<sub>N+1</sub>に入力した信号光は、増幅率G<sub>N+1</sub>で増幅される。ここで、損失量L<sub>N</sub>に対応して減衰量A<sub>N</sub>を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>N+1</sub>の増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。この増幅された信号光は、受信器20に入力して検出される。

【0044】図5及び図6に、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>～50<sub>N+1</sub>における中継損失と増幅ピーク波長との関係を示す。このような光通信システムにおいて、信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>が1560μmに、伝送用光ファイバ40

、 $\sim 40\%$  の損失量  $L_1 \sim L_2$  がそれぞれ  $10\text{ dB}$ 、可変光減衰器  $70_1 \sim 70_2$  の減衰量  $A_1 \sim A_2$  がそれぞれ  $0\text{ dB}$  に設定されている場合、図 5 及び図 6 では増幅ピーク波長  $\lambda_p$  が伝送波長  $\lambda_s$  に一致している。

【0045】ここで、伝送波長  $\lambda_s$  を  $1558\text{ }\mu\text{m}$  に変更すると、増幅ピーク波長  $\lambda_p$  が  $1560\text{ }\mu\text{m}$  のままであり、信号光の伝送特性が劣化してしまう。そこで、可変光減衰器  $70_1 \sim 70_2$  の減衰量  $A_1 \sim A_2$  を  $5\text{ dB}$  にそれぞれ設定することにより、図 5 及び図 6 によれば増幅ピーク波長  $\lambda_p$  が伝送波長  $\lambda_s$  に一致させることができるので、信号光は良好な雑音特性を有して増幅されている。

【0046】したがって、信号光の伝送波長  $\lambda_s$  が変更されても、これに対応して光ファイバ増幅器  $50_2 \sim 50_{n1}$  の増幅ピーク波長  $\lambda_p$  を調整することができるので、信号光の伝送特性は良好に保持される。

【0047】図 7 に、本発明の光通信路に係る第 2 実施例の構成を示す。この光通信路では、送信器  $10$  と受信器  $20$  との間に敷設した伝送光ファイバ  $40_1 \sim 40_2$  を、中継増幅器  $30_1 \sim 30_2$  が  $N$  段に接続している。ここでは、中継増幅器  $30_1 \sim 30_2$  を除いて、送信器  $10$ 、伝送用光ファイバ  $40_1 \sim 40_2$  及び受信器  $20$  の内部は、上記第 1 実施例と同様に構成されている。

【0048】図 8 に、中継増幅器  $30_1 \sim 30_2$  の構成を示す。中継増幅器  $30_1$  では、可変光減衰器  $70_1$  の出力端に光ファイバ増幅器  $50_1$  が接続されている。可変光減衰器  $70_1$  は、前段の伝送用光ファイバ  $40_1$  からの信号光を減衰量  $A_1$  で減衰し、光ファイバ増幅器  $50_1$  に出力する。光ファイバ増幅器  $50_1$  は、可変光減衰器  $70_1$  からの信号光を増幅率  $G_1$  で増幅し、後段の伝送用光ファイバ  $40_{n1}$  に出力する。ここでは、可変光減衰器  $70_1 \sim 70_2$  及び光ファイバ増幅器  $50_1 \sim 50_2$  の内部は、上記第 1 実施例と同様に構成されている。

【0049】なお、光ファイバ増幅器  $50_1 \sim 50_2$  における増幅ピーク波長  $\lambda_p$  が信号光の伝送波長  $\lambda_s$  にそれぞれ一致するように、伝送用光ファイバ  $40_1 \sim 40_2$  における損失量  $L_1 \sim L_2$  と合わせた中継損失を調節するために、可変光減衰器  $70_1 \sim 70_2$  における減衰量  $A_1 \sim A_2$  がそれぞれ設定されている。

【0050】次に、上記第 2 実施例の作用について説明する。

【0051】中継増幅器  $30_1$  の可変光減衰器  $70_1$  では、前段の伝送用光ファイバ  $40_1$  から発散して入力した信号光がコリメータレンズ  $71$  で平行光となる。コリメータレンズ  $71$  からの信号光は、減衰量可変部  $73$  の二つの ND フィルタ  $74$ 、 $75$  で一部が外部に反射され、それぞれの回転角に対応した減衰量  $A_1$  で減衰される。減衰量可変部  $73$  から平行光として出力した信号光は、コリメータレンズ  $72$  で収束されて光ファイバ増幅

器  $50_1$  に出力される。

【0052】中継増幅器  $30_1$  の光ファイバ増幅器  $50_1$  では、駆動電源  $52$  が制御回路  $51$  からの制御信号に対応した電流値を有する駆動電流を出力し、励起光源  $53$  が駆動電源  $52$  からの駆動電流に対応した光強度を有する励起光を出力する。励起光源  $53$  から出力した励起光は、光合波器  $54$ 、光アイソレータ  $55$  を介して増幅用光ファイバ  $57$  に入力し、そのコアに添加した活性物質の  $\text{Er}$  イオンを励起する。増幅用光ファイバ  $57$  から出力した励起光は、光アイソレータ  $55$  を介して光フィルタに入力し、吸収または反射によって増幅用経路から除去される。

【0053】この状態で、可変光減衰器  $70_1$  からの信号光は、光合波器  $54$ 、光アイソレータ  $55$  を介して増幅用光ファイバ  $57$  に入力し、そのコアで励起した  $\text{Er}$  イオンの誘導放出により、励起光のパワーに対応した増幅率  $G_1$  でそれぞれ増幅される。増幅用光ファイバ  $57$  から出力した励起光は、光アイソレータ  $55$  を介して光フィルタ  $58$  に入力して雑音光が除去される。光フィルタ  $58$  から出力した信号光は、光分岐器  $59$  で分岐比  $a : (1-a)$  で光検出器  $60$  と後段の伝送用光ファイバ  $40_{n1}$  に分岐して出力される。光検出器  $60$  が光分岐器  $59$  で分岐した一方の信号光を検出し、その光強度に対応した測定信号を出力する。制御回路  $51$  は、光検出器  $60$  からの測定信号に基づいて制御信号を出力し、励起光源  $53$  から出力する励起光の光強度が一定になるように帰還制御を実行する。

【0054】このような中継増幅器  $30_1 \sim 30_2$  を利用した光通信路では、伝送波長  $\lambda_s$  の信号光が送信器  $10$  で発生し、伝送用光ファイバ  $40_1$  により損失量  $L_1$  で損失して伝送される。中継増幅器  $30_1$  に入力した信号光は、可変光減衰器  $70_1$  により減衰量  $A_1$  で減衰された後、光ファイバ増幅器  $50_1$  で増幅率  $G_1$  で増幅される。ここで、損失量  $L_1$  に対応して減衰量  $A_1$  を変化させることにより、光ファイバ増幅器  $50_1$  の増幅ピーク波長  $\lambda_p$  が信号光の伝送波長  $\lambda_s$  に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。

【0055】中継増幅器  $30_1$  から増幅して出力された信号光は、伝送用光ファイバ  $40_2$  により損失量  $L_2$  で損失して伝送される。中継増幅器  $30_2$  に入力した信号光は、可変光減衰器  $70_2$  により減衰量  $A_2$  で減衰された後、光ファイバ増幅器  $50_2$  で増幅率  $G_2$  で増幅される。ここで、損失量  $L_2$  に対応して減衰量  $A_2$  を変化させることにより、光ファイバ増幅器  $50_2$  の増幅ピーク波長  $\lambda_p$  が信号光の伝送波長  $\lambda_s$  に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。



【0056】以下、このような中継増幅が、多段に実行される。そして、中継増幅器30<sub>k</sub>に入力した信号光は、可変光減衰器70<sub>k</sub>により減衰量A<sub>k</sub>で減衰された後、光ファイバ増幅器50<sub>k</sub>で増幅率G<sub>k</sub>で増幅される。ここで、伝送用光ファイバ40<sub>k</sub>の損失量L<sub>k</sub>に対応して減衰量A<sub>k</sub>を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>k</sub>の増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。

【0057】したがって、信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>が変更されても、これに対応して光ファイバ増幅器50<sub>i</sub>～50<sub>n</sub>の増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>を調整することができるので、信号光の伝送特性は良好に保持される。

【0058】なお、本発明は上記諸実施例に限られるものではなく、種々の変形が可能である。

【0059】例えば、上記諸実施例では、光ファイバ増幅器の増幅用光ファイバとしてE<sub>r</sub>添加光ファイバを用いているが、これを通常の石英系光ファイバに置換すると共に、励起光源としてNd:YAGレーザ等を用いることにより、光ファイバ増幅器をラマン増幅器として用いても、同様な作用効果が得られる。

【0060】また、上記諸実施例では、可変光減衰器の減衰量可変手段としてNDフィルタを用いているが、光学濃度がニュートラル、すなわち、減衰量に波長依存性がほとんどないものを用いればよい。

【0061】また、上記諸実施例では、二つの中継増幅器間の光伝送路として光ファイバを用いているが、光導波路等による伝送や空間伝搬で置換されてもよい。

【0062】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、中継増幅器における信号光の減衰量が、前段または後段の光伝送路における信号光の損失量と合わせて信号光の中継損失を調整し、中継増幅器の増幅ピーク波長が信号光の伝送波長に一致するように設定されてい \*

\*る。そのため、このような中継増幅が多段に実行されることにより、信号光は良好な雑音特性を有して増幅される。

【0063】また、信号光の伝送波長が変更されても、中継増幅器における信号光の減衰量が可変であることにより、信号光は中継増幅器で良好な雑音特性で増幅されるので、信号光の伝送特性は良好に保持される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光通信路に係る第1実施例を示す構成図である。

【図2】図1に示す光通信路における中継増幅器を示す構成図である。

【図3】図2に示す中継増幅器における光ファイバ増幅器を示す構成図である。

【図4】図2に示す中継増幅器における可変光減衰器を示す構成図である。

【図5】中継増幅器における増幅用光ファイバの材料組成が異なる場合の、中継損失と増幅ピーク波長との関係を示すプロット図である。

【図6】中継増幅器における増幅用光ファイバのファイバ長が異なる場合の、中継損失と増幅ピーク波長との関係を示すプロット図である。

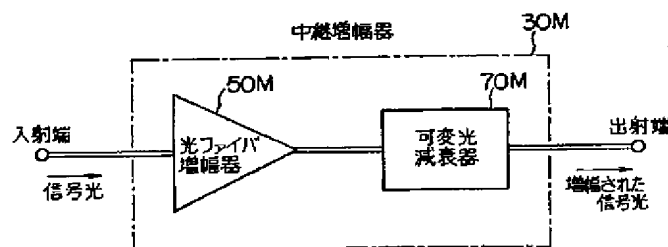
【図7】本発明の光通信路に係る第2実施例を示す構成図である。

【図8】図7に示す光通信路における中継増幅器を示す構成図である。

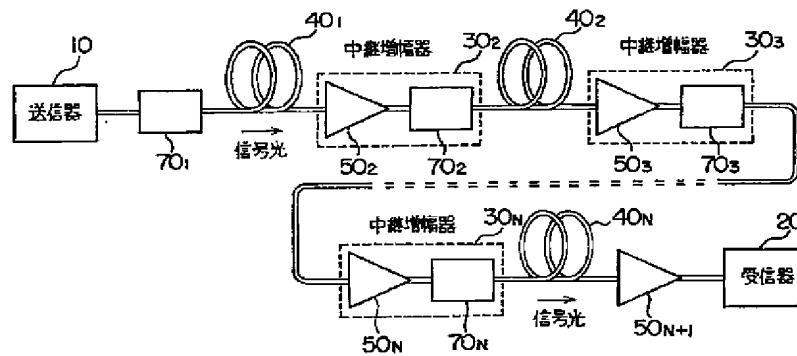
【符号の説明】

10…送信器、20…受信器、30<sub>i</sub>～30<sub>n</sub>…中継増幅器、40<sub>i</sub>～40<sub>n</sub>…伝送用光ファイバ、50<sub>i</sub>～50<sub>n</sub>…光ファイバ増幅器、51…制御回路、52…駆動電源、53…励起光源、54…光合波器、55、56…光アイソレータ、57…増幅用光ファイバ、58…光フィルタ、59…光分岐器、60…光検出器、70<sub>i</sub>～70<sub>n</sub>…可変光減衰器、71、72…コリメータレンズ、73…減衰量可変部、74、75…NDフィルタ。

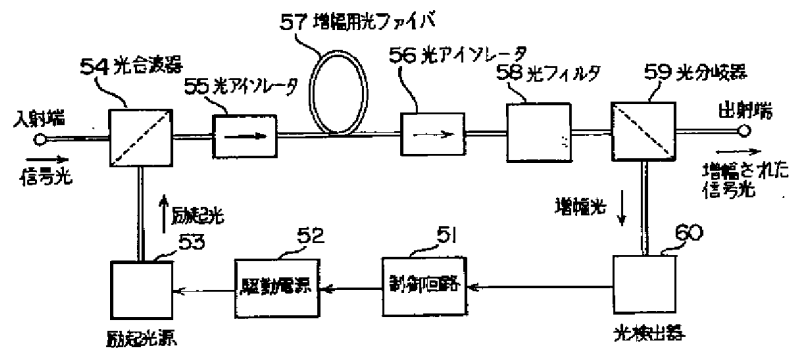
【図2】



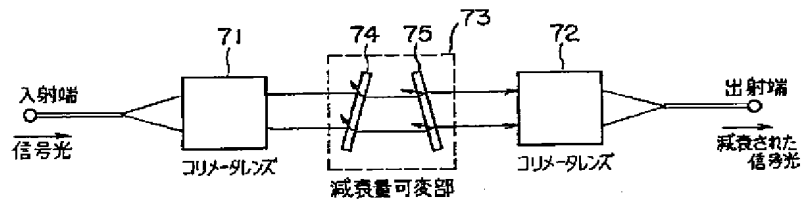
【図1】



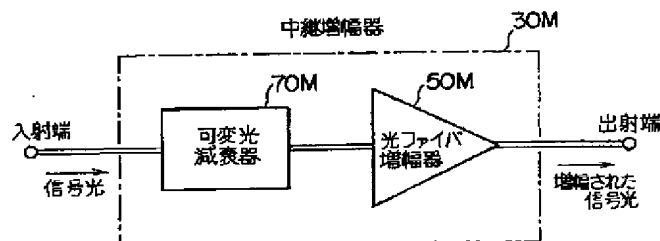
【図3】



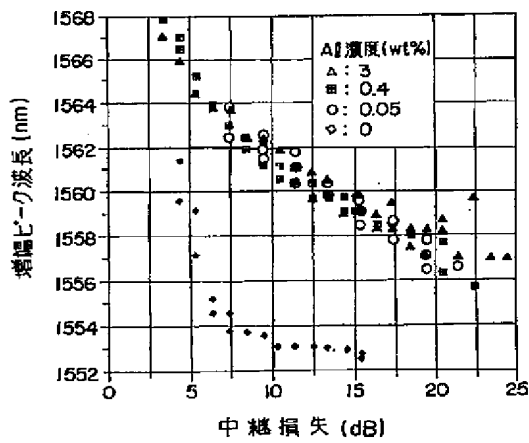
【図4】



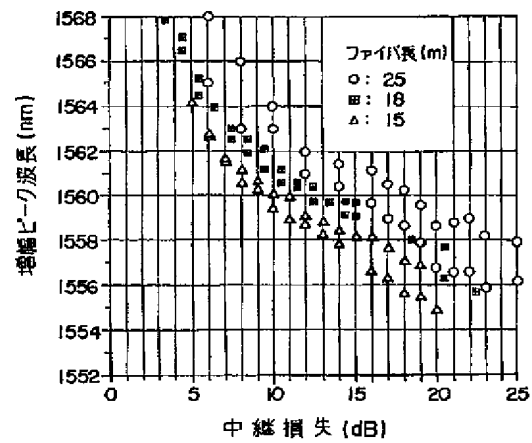
【図8】



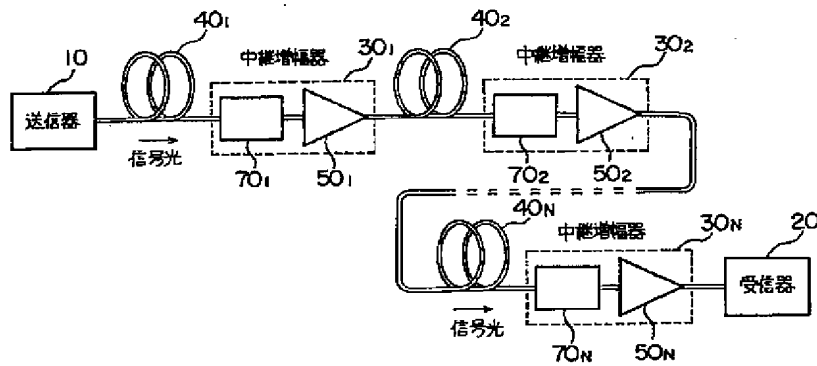
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

H 0 1 S 3/07

3/10

H 0 4 B 10/02

10/18

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

Z

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載  
 【部門区分】第 7 部門第 3 区分  
 【発行日】平成 11 年（1999）7 月 9 日

【公開番号】特開平 7-154338  
 【公開日】平成 7 年（1995）6 月 16 日  
 【年通号数】公開特許公報 7-1544  
 【出願番号】特願平 5-274492  
 【国際特許分類第 6 版】

H04B 10/17

10/16

G02F 1/35

H01S 3/07

3/10

H04B 10/02

10/18

【F I】

H04B 9/00 J

G02F 1/35

H01S 3/07

3/10 Z

H04B 9/00 M

【手続補正書】

【提出日】平成 10 年 6 月 3 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】光信号伝送方法および中継増幅器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 可変光減衰器からの光信号を受ける光ファイバ増幅器で信号光を増幅する光信号伝送方法であって、前記可変光減衰器の減衰量を調節し、前記光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長が伝送される信号光の波長と同じになるように調整することを特徴とする光信号伝送方法。

【請求項 2】 前段光ファイバ増幅器で光信号を増幅し、この増幅された光信号を受ける可変光減衰器からの光信号を後段光ファイバ増幅器で増幅する光信号伝送方法であって、前記前段光ファイバ増幅器と前記後段光ファイバ増幅器との間の中継損失を前記可変光減衰器の減衰量により調節し、前記後段光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長を伝送される信号光の波長と同じになるように調整することを特徴とする光信号伝送方法。

【請求項 3】 前記前段光ファイバ増幅器および前記可

変光減衰器は、中継増幅器を構成することを特徴とする請求項 2 に光信号伝送方法。

【請求項 4】 前記可変光減衰器および前記後段光ファイバ増幅器は、中継増幅器を構成することを特徴とする請求項 2 に光信号伝送方法。

【請求項 5】 光ファイバ増幅器と、この光ファイバ増幅器の入力に接続された可変光減衰器とを備えた中継増幅器であって、前記可変光減衰器は、前記光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長を伝送される信号光の波長と同じになるように調整可能であることを特徴とする中継増幅器。

【請求項 6】 光ファイバ増幅器と、この光ファイバ増幅器の出力に接続された可変光減衰器とを備えた中継増幅器であって、前記可変光減衰器は、この可変光減衰器が出力する信号光を受ける光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長を前記信号光の波長と同じになるように調整可能であることを特徴とする中継増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信システムにおいて、中継増幅器を介して複数の光伝送路を多段に接続した光通信路における光信号伝送方法および中継増幅器に関する。より詳細には、中継増幅器の増幅ピーク波長が信号光の伝送波長に一致するように調整可能な光信号伝送方法および中継増幅器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、光通信システムの長距離伝送に伴い、光ファイバ等の光伝送路における光損失を補償するために、中継増幅器の役割が重要性を増している。この中継増幅器としては、コアに希土類元素を活性物質として添加した増幅用光ファイバを有する光ファイバ増幅器が多く用いられている。そして、光ファイバ増幅器の後段に光減衰器を敷設する構成が周知である。

【0003】このような中継増幅器は、光ファイバ増幅器で所定の増幅率よりも大きい増幅率で信号光を増幅し、光減衰器で信号光を減衰して所定の増幅率で出力する。これにより、光ファイバ増幅器の増幅率が比較的大きい値に維持される、すなわち、増幅用光ファイバ中の活性物質を励起する励起光のパワーが比較的高い値に保持されるので、活性物質における反転分布の低下を防止する。そのため、増幅用光ファイバの雑音指数が、信号光の出力パワーに対して比較的低い値で安定する。

【0004】なお、このような先行技術に関しては、文献1、"Societe des Electriciens et des Electroniens(SEE), 2nd International Conference on Optical Fiber Submarine Telecommunication Systems, S14 Poster Session <1>, pp. 168-169, 1993", 文献2、"United States Patent, No. 5187610"などに詳細に記載されている。

【0005】そして、この中継増幅器では、信号光が多段増幅される際、信号光の伝送波長で光強度のピークを有する信号成分に、比較的広い波長幅に分布した雑音成分が増幅利得に比例して付加される。ここで、伝送波長が中継増幅器の増幅ピーク波長にほぼ一致した値を有するとき、その信号成分が中継損失と同じかより大きい増幅率で増幅されていれば、信号成分は雑音成分に対して十分な強度比を保つことができるので、これを弁別することが容易である。一方、伝送波長が増幅ピーク波長より大きく隔たった値を有し、その信号成分が中継損失より小さい増幅率で増幅されているとき、その信号成分は雑音成分に対して十分な強度比を保つことができないので、信号成分が雑音成分に埋もれてしまい、二つの成分を弁別することが困難である。

【0006】したがって、このような中継増幅器を介して複数の光伝送路を多段に接続し、信号光を増幅中継する光通信路では、決定された信号光の伝送波長に対し、中継増幅器の増幅ピーク波長が一致するように設定されている。

【0007】また、文献3、「Over IMDD 2-channel WDM Transmission Experiments at 5Gbit/s Using 138 In-line Er-doped Fiber Amplifiers」、OFC'93 P.D.3、第21頁～第24頁、(1993年2月)には、波長多重技術を採用して、Erドープ光ファイバ増幅器を含んだ中継増幅器を用いて複数の信号波長を伝送している。伝送波長は1557nm、1559nmであり、

このような光ファイバ増幅器が増幅する伝送波長領域、つまり中継増幅器の増幅ピーク波長は、これらの伝送波長を含むように決定される。中継増幅器を使用すれば、これらの伝送信号波長を共に増幅して長距離伝送が可能になる。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】一般に、中継増幅器の増幅ピーク波長は、前段の中継増幅器との中継間隔、すなわち信号光の中継損失に対応して決定されているという関係が周知である。

【0009】図5に、中継増幅器における増幅用光ファイバの材料組成が異なる場合の、中継損失と増幅ピーク波長との関係を示す。コアに共添加したA1濃度がそれぞれ3wt%、0.4wt%、0.05wt%及び0wt%である4種類の増幅用光ファイバにおいて、中継損失が増大するにつれて増幅ピーク波長が低減している。図6に、中継増幅器における増幅用光ファイバのファイバ長が異なる場合の、中継損失と増幅ピーク波長との関係を示す。ファイバ長がそれぞれ2.5m、1.8m及び1.5mである3種類の増幅用光ファイバにおいて、中継損失が増大するにつれて増幅ピーク波長が低減している。したがって、増幅用光ファイバの材料組成やファイバ長を変化させることにより、中継損失に対する増幅ピーク波長を調整することが可能である。

【0010】なお、このような知見に関しては、文献"IEEE/LEOS OSA, Optical Amplifiers and their Applications, Technical Digest S. vol. 13, pp. 82-85, 1991"などに詳細に記載されている。

【0011】しかしながら、文献1から文献3に記載されている場合においては、増幅用光ファイバのファイバ長が過大に長くなると、雑音指数が増大するなどの雑音特性の劣化が起こる。また、増幅用光ファイバの材料組成やファイバ長を変更すると、信号光の零分散波長が変化して伝送波長と一致しなくなることもある。そのため、光伝送路を光ファイバ等で敷設した後、信号光の伝送波長を変更したい場合に、中継増幅器の増幅ピーク波長がその伝送波長に一致するように調整することが困難である。したがって、文献1から文献3の上記従来の光通信路では、信号光の伝送波長を変更した場合、その伝送特性が劣化してしまうという問題が生じる。

【0012】そこで、本発明は、上記の問題点を解決し、光伝送路を敷設して光通信システムが稼働した後、変更された信号光の伝送波長に中継増幅器の増幅ピーク波長が一致するように調整可能である光信号伝送方法および中継増幅器を提供することを目的とする。

## 【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の光信号伝送方法は、可変光減衰器からの光信号を受ける光ファイバ増幅器で信号光を増幅する光信号伝送方法であって、可変光減衰器の減衰量を調節し、光ファイバ増幅器の増幅ピーク

ク波長が伝送される信号光の波長と同じになるように調整する。

【0014】本発明の光信号伝送方法は、前段光ファイバ増幅器で光信号を増幅し、この増幅された光信号を受ける可変光減衰器からの光信号を後段光ファイバ増幅器で増幅する光信号伝送方法であって、前段光ファイバ増幅器と後段光ファイバ増幅器との間の中継損失を可変光減衰器の減衰量により調節し、後段光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長を伝送される信号光の波長と同じになるように調整する。

【0015】また、本発明の光信号伝送方法では、前段光ファイバ増幅器および可変光減衰器は、中継増幅器を構成するようにしてもよい。

【0016】更に、本発明の光信号伝送方法では、可変光減衰器および後段光ファイバ増幅器は、中継増幅器を構成するようにしてもよい。

【0017】本発明の中継増幅器は、光ファイバ増幅器と、この光ファイバ増幅器の入力に接続された可変光減衰器とを備えた中継増幅器であって、可変光減衰器は、光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長を伝送される信号光の波長と同じになるように調整可能である。

【0018】本発明の中継増幅器は、光ファイバ増幅器と、この光ファイバ増幅器の出力に接続された可変光減衰器とを備えた中継増幅器であって、可変光減衰器は、この可変光減衰器が出力する信号光を受ける光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長を信号光の波長と同じになるように調整可能である。

【0019】

【作用】本発明によれば、前段の光伝送路から中継増幅器に入力した信号光は、光ファイバ増幅器で増幅された後に、可変光減衰器であらかじめ設定された所定の減衰を受けて出力され、後段の光伝送路を介して後段の中継増幅器に入力する。一般に、前段の光伝送路における信号光の中継損失に対応し、中継増幅器の増幅ピーク波長が決定されるという関係がある。

【0020】本発明では、可変光減衰器の減衰量は、後段の光伝送路における信号光の損失量と合わせて信号光の中継損失を調整し、後段の中継増幅器の増幅ピーク波長が信号光の伝送波長に一致するように設定されている。そのため、後段の中継増幅器で信号光は雑音成分に対して信号成分が十分弁別できる状態に増幅される。

【0021】したがって、このような中継増幅が多段に実行されることにより、信号光は良好な雑音特性を有して増幅される。なお、中継増幅器における信号光の減衰量が可変であることにより、信号光の伝送波長が変更されても、これに対応して後段の中継増幅器の増幅ピーク波長を調整することができるので、信号光の伝送特性は良好に保持される。

【0022】また、本発明によれば、前段の光伝送路から中継増幅器に入力した信号光は、可変光減衰器であ

かじめ設定された所定の減衰を受けた後、光ファイバ増幅器で増幅されて後段の光伝送路に出力される。この可変光減衰器の減衰量は、前段の光伝送路における信号光の損失量と合わせて信号光の中継損失を調整し、光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長が信号光の伝送波長に一致するように設定されている。

【0023】したがって、このような中継増幅が多段に実行されることにより、信号光は良好な雑音特性を有して増幅される。なお、中継増幅器における信号光の減衰量が可変であることにより、信号光の伝送波長が変更されても、これに対応して光ファイバ増幅器の増幅ピーク波長を調整することができるので、信号光の伝送特性は良好に保持される。

【0024】

【実施例】以下、本発明に係る実施例の構成及び作用について、図1ないし図8を参照して説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0025】図1に、本発明の光通信路に係る第1実施例の構成を示す。この光通信路では、送信器10と受信器20との間に敷設した伝送光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>N</sub>を、中継増幅器30<sub>1</sub>～30<sub>N</sub>、可変光減衰器70<sub>1</sub>及び光ファイバ増幅器50<sub>N+1</sub>がN段に接続している。

【0026】送信器10は通常のレーザダイオード(LD)であり、波長1.5μm帯の伝送波長λ<sub>s</sub>で信号光を発生する。可変光減衰器70<sub>1</sub>は後述する可変光減衰器70<sub>2</sub>～70<sub>N</sub>と同一の構成を有し、発光素子からの信号光を減衰量A<sub>1</sub>で減衰して初段の伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>に出力する。

【0027】伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>N</sub>はそれぞれ通常の石英系光ファイバであり、波長1.5μm帯で最低となる伝送損失を有し、前段の中継増幅器30<sub>1</sub>からの信号光に損失量L<sub>0</sub>～L<sub>N</sub>をそれぞれ与え、後段の中継増幅器30<sub>N+1</sub>に伝送する。中継増幅器30<sub>2</sub>～30<sub>N</sub>は後述する構成を有し、波長1.5μm帯の伝送波長λ<sub>s</sub>に一致した増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>を有し、前段の伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>からの信号光を増幅率G<sub>2</sub>～G<sub>N</sub>で増幅して後段の伝送用光ファイバ40<sub>N</sub>に出力する。

【0028】光ファイバ増幅器50<sub>N+1</sub>は後述する光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>～50<sub>N</sub>と同一の構成を有し、最後段の伝送用光ファイバ40<sub>N</sub>からの信号光を増幅率G<sub>N+1</sub>で増幅して出力する。受信器20は通常のフォトダイオード(PD)であり、光ファイバ増幅器50<sub>N+1</sub>からの信号光を検出する。

【0029】図2に、中継増幅器30<sub>2</sub>～30<sub>N</sub>の構成を示す。中継増幅器30<sub>N</sub>では、光ファイバ増幅器50<sub>N</sub>の出力端に可変光減衰器70<sub>N</sub>が接続されている。光ファイバ増幅器50<sub>N</sub>は、前段の伝送用光ファイバ40<sub>N</sub>

からの信号光を増幅率 $G_1$ よりも大きい増幅率 $G_1'$ で増幅し、可変光減衰器70<sub>1</sub>に出力する。可変光減衰器70<sub>1</sub>は、光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>からの信号光を減衰量 $A_1$ で減衰し、結局中継増幅器30<sub>1</sub>としては増幅率 $G_1$ で後段の伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>に出力する。

【0030】図3に、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>～50<sub>N</sub>の構成を示す。光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>では、信号光が光合波器54から光アイソレータ55、増幅用光ファイバ57、光アイソレータ56及び光フィルタ58を経て光分岐器59に至る増幅用経路が構成されている。また、励起光が励起光源53から光合波器54に至る分岐経路と、信号光の一部が光分岐器59から光検出器60に至る分岐経路がそれぞれ構成されている。さらに、光検出器60、制御回路51、駆動電源52及び励起光源53の間を電氣的に接続する配線が施されている。

【0031】励起光源53は通常のLDであり、駆動電源52からの駆動電流に対応した光強度を有する波長 $1.48\mu\text{m}$ の励起光を発生し、これを光合波器54に出力する。光合波器54は溶融延伸型の2対1波長多重分割ファイバカプラであり、前段の伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>からの信号光と励起光源53からの励起光を合波して光アイソレータ55に出力する。光アイソレータ55は偏波無依存型光アイソレータであり、光合波器54からの信号光と励起光を増幅用光ファイバ57に向う一方のみに出力する。

【0032】増幅用光ファイバ57はそのコアに微量のエルビウム(Er)イオンが活性物質として添加したEr添加石英系光ファイバ(EDF)であり、光アイソレータ55からの励起光で励起したErイオンの誘導放出によって光アイソレータ55からの信号光を増幅し、光アイソレータ56に出力する。光アイソレータ56は偏波無依存型光アイソレータであり、増幅用光ファイバ57からの信号光を光フィルタ58に向う一方のみに出力する。光フィルタ58は、通常のパンドパスフィルタであり、信号光の伝送波長 $\lambda_s$ と一致した透過中心波長を有し、光アイソレータ56からの信号光から雑音成分と励起光成分を除去する。

【0033】光分岐器59は溶融延伸型の1対2分岐ファイバカプラであり、光フィルタ58からの信号光を分岐比 $a:(1-a)$ で光検出器60と可変光減衰器70<sub>1</sub>に分岐して出力する。光検出器60は通常のPDであり、光分岐器59からの信号光を検出し、その光強度に対応した測定信号に光電変換して出力する。制御回路51は、光検出器60からの測定信号に基づいて制御信号を出力する。駆動電源52は、制御回路51からの制御信号に対応した電流値を有する駆動電流を出力する。

【0034】図4に、可変光減衰器70<sub>1</sub>～70<sub>N</sub>の構成を示す。可変光減衰器70<sub>1</sub>では、信号光がコリメータレンズ71から減衰量可変部73を経てコリメータ72に至る減衰用経路が構成されている。コリメータレン

ズ71は、光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>から発散して入力した信号光を平行光として出力する。減衰量可変部73では、回転する2枚のND(Neutral Density)フィルタ74、75が信号光の光束に対して傾けて、例えばハの字型に配置されており、各回転角により減衰量が連続的に変化する。この減衰量可変部73は、コリメータレンズ71からの信号光の一部をNDフィルタ74、75で外部に反射することにより、信号光を減衰してコリメータレンズ72に出力する。コリメータレンズ72は、減衰量可変部73から平行光として入力した信号光を収束し、伝送用光ファイバ70<sub>1</sub>に出力する。

【0035】なお、伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>N</sub>における損失量 $L_1\sim L_N$ がそれぞれ最低値となるように、送信器10の発光素子から発生する信号光の伝送波長 $\lambda_s$ が設定されている。また、伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>N</sub>における損失量 $L_1\sim L_N$ がそれぞれ補償されるように、中継増幅器30<sub>2</sub>～30<sub>N</sub>及び光ファイバ増幅器70<sub>2</sub>～70<sub>N</sub>における増幅率 $G_2\sim G_N$ がそれぞれ設定されている。

【0036】また、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>～50<sub>N</sub>における増幅ピーク波長 $\lambda_p$ が信号光の伝送波長 $\lambda_s$ にそれぞれ一致するように、伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>N</sub>における損失量 $L_1\sim L_N$ と合わせた中継損失を調節するために、可変光減衰器70<sub>1</sub>～70<sub>N</sub>における減衰量 $A_1\sim A_N$ がそれぞれ設定されている。また、可変光減衰器70<sub>1</sub>～70<sub>N</sub>における減衰量 $A_1\sim A_N$ に対応し、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>～50<sub>N</sub>の増幅用光ファイバ57に入力される励起光のパワーが中継増幅器30<sub>2</sub>～30<sub>N</sub>における増幅率 $G_2\sim G_N$ の実現に必要な値よりもそれぞれ十分大きくなるように、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>～50<sub>N</sub>における増幅率 $G_2'\sim G_N'$ がそれぞれ設定されている。

【0037】さらに、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>～50<sub>N</sub>における増幅用光ファイバ57のファイバ長が長いほど、可変光減衰器70<sub>1</sub>～70<sub>N</sub>における減衰量 $A_1\sim A_N$ により調節できる中継損失のマージンが拡張されるので、そのファイバ長は信号光の雑音特性を劣化させない範囲でできるだけ長く設定することが望ましい。

【0038】次に、上記第1実施例の作用について説明する。

【0039】中継増幅器30<sub>1</sub>の光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>では、駆動電源52が制御回路51からの制御信号に対応した電流値を有する駆動電流を出力し、励起光源53が駆動電源52からの駆動電流に対応した光強度を有する励起光を出力する。励起光源53から出力した励起光は、光合波器54、光アイソレータ55を介して増幅用光ファイバ57に入力し、そのコアに添加した活性物質のErイオンを励起する。増幅用光ファイバ57から出力した励起光は、光アイソレータ55を介して光フィルタに入力し、吸収または反射によって増幅用経路から

除去される。

【0040】この状態で、前段の伝送用光ファイバ40<sub>n-1</sub>からの信号光は、光合波器54、光アイソレータ55を介して増幅用光ファイバ57に入力し、そのコアで励起したErイオンの誘導放出により、励起光のパワーに対応した増幅率G'でそれぞれ増幅される。増幅用光ファイバ57から出力した励起光は、光アイソレータ55を介して光フィルタ58に入力して雑音光が除去される。光フィルタ58から出力した信号光は、光分岐器59で分岐比a:(1-a)で光検出器60と可変光減衰器70<sub>n</sub>に分岐して出力される。光検出器60が光分岐器59で分岐した一方の信号光を検出し、その光強度に対応した測定信号を出力する。制御回路51は、光検出器60からの測定信号に基づいて制御信号を出力し、励起光源53から出力する励起光の光強度が一定になるように帰還制御を実行する。

【0041】中継増幅器30<sub>n</sub>の可変光減衰器70<sub>n</sub>では、光ファイバ増幅器50<sub>n</sub>から発散して入力した信号光がコリメータレンズ71で平行光となる。コリメータレンズ71からの信号光は、減衰量可変部73の二つのNDフィルタ74、75で一部が外部に反射され、それぞれの回転角に対応した減衰量A<sub>n</sub>で減衰される。減衰量可変部73から平行光として出力した信号光は、コリメータレンズ72で収束されて後段の伝送用光ファイバ40<sub>n</sub>に出力される。

【0042】このような中継増幅器30<sub>2</sub>～30<sub>n</sub>を利用した光通信路では、伝送波長λ<sub>s</sub>の信号光が送信器10で発生し、可変光減衰器70<sub>1</sub>により減衰量A<sub>1</sub>で減衰して出力され、伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>により損失量L<sub>1</sub>を損失して伝送される。中継増幅器30<sub>2</sub>に入力した信号光は、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>で増幅率G'<sub>2</sub>で増幅される。ここで、損失量L<sub>1</sub>に対応して減衰量A<sub>1</sub>を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>の増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。したがって、光ファイバ増幅器が増幅する伝送波長領域において、雑音に対して信号成分を弁別して増幅可能となる。

【0043】この増幅された信号光は、可変光減衰器70<sub>2</sub>により減衰量A<sub>2</sub>で減衰して中継増幅器30<sub>2</sub>から出力され、伝送用光ファイバ40<sub>2</sub>により損失量L<sub>2</sub>で損失して伝送される。ただし、中継増幅器30<sub>2</sub>では、信号光は増幅率G'<sub>2</sub>で増幅された後に減衰量A<sub>2</sub>で減衰され、結果として増幅率G<sub>2</sub>で増幅される。中継増幅器30<sub>3</sub>に入力した信号光は、光ファイバ増幅器50<sub>3</sub>で増幅率G'<sub>3</sub>で増幅される。ここで、損失量L<sub>2</sub>に対応して減衰量A<sub>2</sub>を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>3</sub>の増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>に一致するように、中継損失が調整されている。そ

のため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。

【0044】この増幅された信号光は、可変光減衰器70<sub>3</sub>により減衰量A<sub>3</sub>で減衰して中継増幅器30<sub>3</sub>から出力され、伝送用光ファイバ40<sub>3</sub>により損失量L<sub>3</sub>で損失して伝送される。ただし、中継増幅器30<sub>3</sub>では、信号光は増幅率G'<sub>3</sub>で増幅された後に減衰量A<sub>3</sub>で減衰され、結果として増幅率G<sub>3</sub>で増幅される。

【0045】以下、このような中継増幅が、多段に実行される。そして、中継増幅器30<sub>n</sub>に入力した信号光は、光ファイバ増幅器50<sub>n</sub>で増幅率G'<sub>n</sub>で増幅される。ここで、伝送用光ファイバ40<sub>n-1</sub>の損失量L<sub>n-1</sub>に対応して可変光減衰器70<sub>n-1</sub>の減衰量A<sub>n-1</sub>を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>n</sub>の増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。

【0046】この増幅された信号光は、可変光減衰器70<sub>n</sub>により減衰量A<sub>n</sub>で減衰して中継増幅器30<sub>n</sub>から出力され、伝送用光ファイバ40<sub>n</sub>により損失量L<sub>n</sub>で損失して伝送される。ただし、中継増幅器30<sub>n</sub>では、信号光は増幅率G'<sub>n</sub>で増幅された後に減衰量A<sub>n</sub>で減衰され、結果として増幅率G<sub>n</sub>で増幅される。光ファイバ増幅器50<sub>n+1</sub>に入力した信号光は、増幅率G'<sub>n+1</sub>で増幅される。ここで、損失量L<sub>n</sub>に対応して減衰量A<sub>n</sub>を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>n+1</sub>の増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。この増幅された信号光は、受信器20に入力して検出される。したがって、光ファイバ増幅器が増幅する伝送波長領域において、光信号が伝送可能になる。

【0047】図5及び図6に、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>～50<sub>n+1</sub>における中継損失と増幅ピーク波長との関係を示す。このような光通信システムにおいて、信号光の伝送波長λ<sub>s</sub>が1560μmに、伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>n</sub>の損失量L<sub>1</sub>～L<sub>n</sub>がそれぞれ10dB、可変光減衰器70<sub>1</sub>～70<sub>n</sub>の減衰量A<sub>1</sub>～A<sub>n</sub>がそれぞれ0dBに設定されている場合、図5及び図6では増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が伝送波長λ<sub>s</sub>に一致している。

【0048】ここで、伝送波長λ<sub>s</sub>を1558μmに変更すると、増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が1560μmのままであり、信号光の伝送特性が劣化してしまう。そこで、可変光減衰器70<sub>1</sub>～70<sub>n</sub>の減衰量A<sub>1</sub>～A<sub>n</sub>を5dBにそれぞれ設定することにより、図5及び図6によれば増幅ピーク波長λ<sub>p</sub>が伝送波長λ<sub>s</sub>に一致させることができるので、信号光は良好な雑音特性を有して増幅されている。



【0049】したがって、信号光の伝送波長 $\lambda_s$ が変更されても、これに対応して光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>～50<sub>N</sub>の増幅ピーク波長 $\lambda_r$ を調整することができるので、信号光の伝送特性は良好に保持される。すなわち、光ファイバが増幅する伝送波長領域において、光信号が伝送可能になる。

【0050】図7に、本発明の光通信路に係る第2実施例の構成を示す。この光通信路では、送信器10と受信器20との間に敷設した伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>N</sub>を、中継増幅器30<sub>1</sub>～30<sub>N</sub>がN段に接続している。ここでは、中継増幅器30<sub>1</sub>～30<sub>N</sub>を除いて、送信器10、伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>N</sub>及び受信器20の内部は、上記第1実施例と同様に構成されている。

【0051】図8に、中継増幅器30<sub>1</sub>～30<sub>N</sub>の構成を示す。中継増幅器30<sub>1</sub>では、可変光減衰器70<sub>1</sub>の出力端に光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>が接続されている。可変光減衰器70<sub>1</sub>は、前段の伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>からの信号光を減衰量 $A_1$ で減衰し、光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>に出力する。光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>は、可変光減衰器70<sub>1</sub>からの信号光を増幅率 $G_1$ で増幅し、後段の伝送用光ファイバ40<sub>2</sub>に出力する。ここでは、可変光減衰器70<sub>1</sub>～70<sub>N</sub>及び光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>～50<sub>N</sub>の内部は、上記第1実施例と同様に構成されている。

【0052】なお、光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>～50<sub>N</sub>における増幅ピーク波長 $\lambda_r$ が信号光の伝送波長 $\lambda_s$ にそれぞれ一致するように、伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>～40<sub>N</sub>における損失量 $L_1$ ～ $L_N$ と合わせた中継損失を調節するために、可変光減衰器70<sub>1</sub>～70<sub>N</sub>における減衰量 $A_1$ ～ $A_N$ がそれぞれ設定されている。

【0053】次に、上記第2実施例の作用について説明する。

【0054】中継増幅器30<sub>1</sub>の可変光減衰器70<sub>1</sub>では、前段の伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>から発散して入力した信号光がコリメータレンズ71で平行光となる。コリメータレンズ71からの信号光は、減衰量可変部73の二つのNDフィルタ74、75で一部が外部に反射され、それぞれの回転角に対応した減衰量 $A_1$ で減衰される。減衰量可変部73から平行光として出力した信号光は、コリメータレンズ72で収束されて光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>に出力される。

【0055】中継増幅器30<sub>1</sub>の光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>では、駆動電源52が制御回路51からの制御信号に対応した電流値を有する駆動電流を出力し、励起光源53が駆動電源52からの駆動電流に対応した光強度を有する励起光を出力する。励起光源53から出力した励起光は、光合波器54、光アイソレータ55を介して増幅用光ファイバ57に入力し、そのコアに添加した活性物質のE<sub>r</sub>イオンを励起する。増幅用光ファイバ57から出力した励起光は、光アイソレータ55を介して光フィ

ルタに入力し、吸収または反射によって増幅用経路から除去される。

【0056】この状態で、可変光減衰器70<sub>1</sub>からの信号光は、光合波器54、光アイソレータ55を介して増幅用光ファイバ57に入力し、そのコアで励起したE<sub>r</sub>イオンの誘導放出により、励起光のパワーに対応した増幅率 $G_1$ でそれぞれ増幅される。増幅用光ファイバ57から出力した励起光は、光アイソレータ55を介して光フィルタ58に入力して雑音光が除去される。光フィルタ58から出力した信号光は、光分岐器59で分岐比 $a:(1-a)$ で光検出器60と後段の伝送用光ファイバ40<sub>2</sub>に分岐して出力される。光検出器60が光分岐器59で分岐した一方の信号光を検出し、その光強度に対応した測定信号を出力する。制御回路51は、光検出器60からの測定信号に基づいて制御信号を出力し、励起光源53から出力する励起光の光強度が一定になるように帰還制御を実行する。

【0057】このような中継増幅器30<sub>1</sub>～30<sub>N</sub>を利用した光通信路では、伝送波長 $\lambda_s$ の信号光が送信器10で発生し、伝送用光ファイバ40<sub>1</sub>により損失量 $L_1$ で損失して伝送される。中継増幅器30<sub>1</sub>に入力した信号光は、可変光減衰器70<sub>1</sub>により減衰量 $A_1$ で減衰された後、光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>で増幅率 $G_1$ で増幅される。ここで、損失量 $L_1$ に対応して減衰量 $A_1$ を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>の増幅ピーク波長 $\lambda_r$ が信号光の伝送波長 $\lambda_s$ に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。

【0058】中継増幅器30<sub>1</sub>から増幅して出力された信号光は、伝送用光ファイバ40<sub>2</sub>により損失量 $L_2$ で損失して伝送される。中継増幅器30<sub>2</sub>に入力した信号光は、可変光減衰器70<sub>2</sub>により減衰量 $A_2$ で減衰された後、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>で増幅率 $G_2$ で増幅される。ここで、損失量 $L_2$ に対応して減衰量 $A_2$ を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>2</sub>の増幅ピーク波長 $\lambda_r$ が信号光の伝送波長 $\lambda_s$ に一致するように、中継損失が調整されている。そのため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。したがって、光ファイバ増幅器が増幅する伝送波長領域において、雑音に対して信号成分を弁別して増幅可能となる。

【0059】以下、このような中継増幅が、多段に実行される。そして、中継増幅器30<sub>N</sub>に入力した信号光は、可変光減衰器70<sub>N</sub>により減衰量 $A_N$ で減衰された後、光ファイバ増幅器50<sub>N</sub>で増幅率 $G_N$ で増幅される。ここで、伝送用光ファイバ40<sub>N</sub>の損失量 $L_N$ に対応して減衰量 $A_N$ を変化させることにより、光ファイバ増幅器50<sub>N</sub>の増幅ピーク波長 $\lambda_r$ が信号光の伝送波長 $\lambda_s$ に一致するように、中継損失が調整されている。そ

のため、雑音成分に対して信号成分が十分弁別できるように、信号光が増幅される。

【0060】したがって、信号光の伝送波長 $\lambda_s$ が変更されても、これに対応して光ファイバ増幅器50<sub>1</sub>～50<sub>n</sub>の増幅ピーク波長 $\lambda_p$ を調整することができるので、信号光の伝送特性は良好に保持される。すなわち、光ファイバが増幅する伝送波長領域において、光信号が伝送可能になる。

【0061】なお、本発明は上記諸実施例に限られるものではなく、種々の変形が可能である。

【0062】例えば、上記諸実施例では、光ファイバ増幅器の増幅用光ファイバとしてEr添加光ファイバを用いているが、これを通常の石英系光ファイバに置換すると共に、励起光源としてNd:YAGレーザ等を用いることにより、光ファイバ増幅器をラマン増幅器として用いても、同様な作用効果が得られる。

【0063】また、上記諸実施例では、可変光減衰器の減衰量可変手段としてNDフィルタを用いているが、光学濃度がニュートラル、すなわち、減衰量に波長依存性がほとんどないものを用いればよい。

【0064】また、上記諸実施例では、二つの中継増幅器間の光伝送路として光ファイバを用いているが、光導波路等による伝送や空間伝搬で置換されてもよい。

【0065】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、中継増幅器における信号光の減衰量が、前段または後段の光伝送路における信号光の損失量と合わせて信号光の中継損失を調整し、中継増幅器の増幅ピーク波長が信号光の伝送波長に一致するように設定されている。そのため、このような中継増幅が多段に実行されることにより、信号光は良好な雑音特性を有して増幅される。

【0066】また、信号光の伝送波長が変更されても、

中継増幅器における信号光の減衰量が可変であることにより、信号光は中継増幅器で良好な雑音特性で増幅されるので、信号光の伝送特性は良好に保持される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光通信路に係る第1実施例を示す構成図である。

【図2】図1に示す光通信路における中継増幅器を示す構成図である。

【図3】図2に示す中継増幅器における光ファイバ増幅器を示す構成図である。

【図4】図2に示す中継増幅器における可変光減衰器を示す構成図である。

【図5】中継増幅器における増幅用光ファイバの材料組成が異なる場合の、中継損失と増幅ピーク波長との関係を示すプロット図である。

【図6】中継増幅器における増幅用光ファイバのファイバ長が異なる場合の、中継損失と増幅ピーク波長との関係を示すプロット図である。

【図7】本発明の光通信路に係る第2実施例を示す構成図である。

【図8】図7に示す光通信路における中継増幅器を示す構成図である。

【符号の説明】

10…送信器、20…受信器、30<sub>1</sub>～30<sub>n</sub>…中継増幅器、40<sub>1</sub>～40<sub>n</sub>…伝送用光ファイバ、50<sub>1</sub>～50<sub>n</sub>…光ファイバ増幅器、51…制御回路、52…駆動電源、53…励起光源、54…光合波器、55、56…光アイソレータ、57…増幅用光ファイバ、58…光フィルタ、59…光分岐器、60…光検出器、70<sub>1</sub>～70<sub>n</sub>…可変光減衰器、71、72…コリメータレンズ、73…減衰量可変部、74、75…NDフィルタ。

代理人弁理士 長谷川 芳樹